541

EL DISEÑO DE LA NATURALEZA O LA NATURALEZA DEL DISEÑO

FABRICIO VANDEN BROECK

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo
Azcapotzalco

Fabricio Vanden Broeck nació en 1955, en la Ciudad de México.

Estudió la licenciatura en Diseño Industrial en la Universidad Iberoamericana en México y la Maestría en Biónica y Diseño Básico en l'Ecole Cantonale des Beaux–Arts et d'Art Appliqué de Lausanne, Suiza.

Es profesor de Diseño Básico y de Biónica aplicada al Diseño en la Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, desde 1983.

Ha sido profesor invitado en universidades y escuelas de diseño en Brasil e Italia, donde ha impartido cursos relativos a los temas de creatividad, diseño y su relación con la naturaleza.

El diseño de la naturaleza

o la naturaleza del diseño

Colección:
Libros de Texto y Manuales de Práctica

El diseño de la naturaleza

o la naturaleza del diseño

Fabricio Vanden Broeck

AZCAPOTZALCO
COSEI BIBLIOTECA

2893408

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General
Dr. José Luis Gázquez Mateos
Secretario General
Lic. Edmundo Jacobo Molina

Unidad Azcapotzalco
Rectora
Mtra. Mónica de la Garza Malo
Secretario
Lic. Guillermo Ejea Mendoza
Coordinador de Extensión Universitaria
Lic. Enrique López Aguilar
Jefa de la Sección de Producción y Distribución Edit
Lic. Silvia Aboytes Perete

Primera edición en México: 2000
ISBN: 970-654-547-6

©Fabricio Vanden Broeck
©Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas
México, 02200, DF

Impreso en México/ *Printed in Mexico*

Introducción

Medio ambiente e información

El tema del medio ambiente es, hoy en día, omnipresente. Del discurso del político a la plática de sobremesa, de la escuela al hogar, en todos lados y en todo argumento, oímos hablar del medio ambiente.

Pareciera que la sociedad entera está tomando conciencia de su importancia. Sin embargo, la mayoría de los discursos ambientalistas está enfocada desde una perspectiva miope e inmediatista que considera al medio ambiente como un almacén de materias primas en riesgo.

Por lo general, nuestra participación activa en relación con el medio ambiente se limita a no tirar papeles en la calle o, en el mejor de los casos, a regar los pocos árboles que conforman nuestro cotidiano escenario. En todo caso, el medio ambiente es percibido como un ente pasivo del cual extraemos recursos, y que de alguna manera debemos preservar para podernos abastecer en el futuro.

Pocas personas tienen conciencia de que nosotros formamos parte del medio ambiente, y menos aún se dan cuenta de que la riqueza de éste va mucho más allá del tema de las materias primas.

Algunos científicos se dan cuenta ahora de que en la selva amazónica, amenazada por el "desarrollo", probablemente se encuentran en peligro de extinción plantas que ayudarían en el tratamiento de enfermedades como el sida o el cáncer. Asimismo, existe poca conciencia de que lo que se pierde diariamente con cada especie vegetal o animal que se extingue, es el recurso más importante de la naturaleza: la información.

En la era de la informática, que apenas empieza y que dentro de muy poco nos ofrecerá herramientas poderosísimas para procesar e interrelacionar todo tipo de información, el insumo más importante será precisamente la información. Y la información cualitativamente valiosa será escasa.

Es una paradoja que la época de mayor desarrollo de los instrumentos informáticos más poderosos jamás imaginados coincida con la época en que más daño le estamos infligiendo a la fuente más rica de información a la que jamás tendremos acceso: la naturaleza.

Medio ambiente y diseño

Parte de la información contenida en la naturaleza es información relativa a los temas de función, forma y material, temas centrales en la cuestión proyectual, y que nos enseñaría cómo solucionar mejor nuestros problemas constructivos y técnicos.

Para quienes sepan observar y extrapolar creativamente, la naturaleza es una fuente rica en soluciones a problemas de diseño. Sin embargo, el ser humano ha perdido parte importante de su potencial sensorial, la capacidad que le confiere autonomía y la posibilidad de apreciar y evaluar aquello que lo rodea; potencial que le permitiría tomar las decisiones correctas en materia de desarrollo.

Hoy en día, la información nos llega terciada, vía audio y video, a través de la experiencia sensorial de un grupo de iniciados que manejan los medios en una sociedad hiperespecializada, situación que ha atrofiado nuestros sentidos y nuestra capacidad de juicio.

Diseñar es una actividad compleja que implica observar, detectar disfunciones, cuestionar hábitos y costumbres, y proponer escenarios nuevos, pero sobre todo mejores. Implica tomar decisiones que afectarán a otros, escoger en lugar de otros. Diseñar es una actividad de síntesis, y si la incapacidad de utilizar nuestros sentidos nos hace vivir mal, ciertamente también nos hará proponer mal.

La educación tradicional privilegia la memoria en perjuicio de los senti-

dos; a la disciplina en detrimento de la iniciativa. Frente a los retos del nuevo siglo que se presentan como sumamente complejos, la educación para el diseño exigirá del educando un alto grado de creatividad, ciertamente, pero también replanteará su manera de ver y de recrear la realidad.

La educación del diseño frente a estos retos deberá:

- Privilegiar el sentido de la observación amplia, aquella que permite la interacción de todos los sentidos.
- Desarrollar la capacidad de abstracción para permitir acceder a la esencia de los problemas.
- Desarrollar la capacidad de extrapolar soluciones conceptuales de un campo del conocimiento a otro.
- Estimular la experimentación y la interpretación creativa de la realidad, entre otras cosas.

Frente a estos requerimientos el medio ambiente deberá ser integrado al proceso de diseño, ya no como escenografía de nuestras hipótesis proyectuales, sino como catalizador activo de nuestros procesos creativos.

Es en esa perspectiva que el presente trabajo pretende ubicarse.

CAPÍTULO

1

La biónica

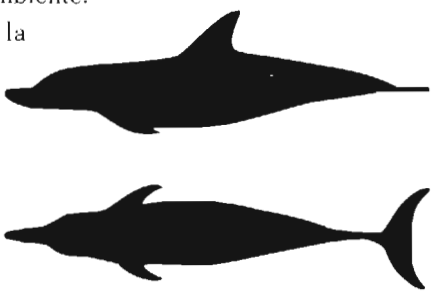
Introducción

A mediados de este siglo, nace una nueva disciplina con la intención de formalizar el uso de analogías biológicas para resolver problemas proyectuales: la biónica.

Esta actividad parte del principio de que, en la tierra, todo organismo vivo es el resultado de dos millones de años de evolución, y que, mediante la selección natural, han sobrevivido sólo aquellas especies que estaban satisfactoriamente adaptadas al medio ambiente.

Con base en estos principios, la biónica plantea que la naturaleza es un terreno rico en soluciones a problemas análogos a los que afronta el hombre:

- Estructura.
- Locomoción.
- Coordinación.
- Emisión, transmisión y recepción de información.

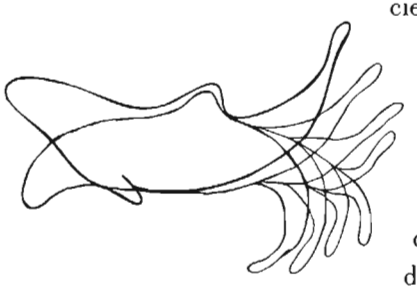


R. MARTÍNEZ H. SEGÚN H. HERTEL

EL DELFÍN ES UNO DE LOS ANIMALES NADADORES MÁS POTENTES Y EFICACES. HA SIDO MUY ESTUDIADO DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDRODINÁMICO.

Antecedentes

La observación consciente e intencional de los sistemas naturales para resolver problemas en el campo proyectual es una preocupación relativamente re-



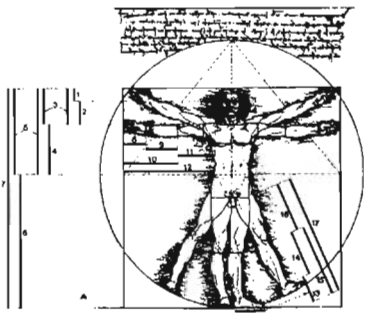
F. VANDEN BROECK SEGÚN H HERTEL

EL MOVIMIENTO DE PROPULSIÓN DEL DELFÍN IMPLICA A TODO EL CUERPO.

ciente asociada con ciertos periodos históricos, periodos generalmente caracterizados por una gran efervescencia creativa.

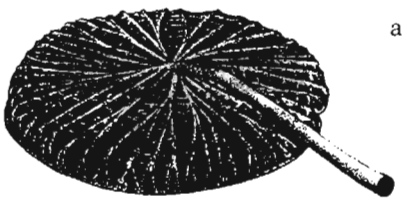
Encontramos un ejemplo de esta actividad en el trabajo de Leonardo da Vinci, en particular en el estudio de las alas de murciélago que desarrolló con miras a aplicarlo al diseño de una máquina voladora.

Debemos otras experiencias de esta índole a ingenieros y constructores de finales del siglo XIX y principios del XX, como Alexander Graham Bell, con sus estructuras espaciales reticuladas; Joseph Paxton, un constructor de invernaderos inglés quien realizó el proyecto, en 1851, del Crystal Palace, inspirándose en las grandes hojas flotantes del lirio *Victoria amazónica;* y Antoni Gaudí, quien, con base en la observación de la estructura de hojas y otros sistemas vegetales, diseñó superficies estructuradas autoportantes.



LEONARDO DA VINCI

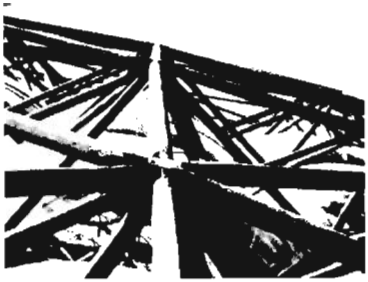
Por otro lado y en otros campos, desde hace mucho tiempo, el estudio de las proporciones en la naturaleza ha llamado la atención de artistas, estudiosos de la estética y filósofos. Por ejemplo, Luca Pacioli di Borgo recuperó todo un conocimiento relacionado con la sección áurea, a la cual llamó *proporción divina* por sus propiedades únicas; Leonardo de Pisa, en 1202, descubrió que ciertos problemas de crecimiento y desarrollo en el mundo animal y vegetal se relacionan con una serie aritmética y geométrica precisa;



MIGUEL PÉREZ SEGÚN B. KRESLING

HOJA DE LIRIO TIPO VICTORIA AMAZÓNICA, CUYA ESTRUCTURA INSPIRÓ LA CONSTRUCCIÓN DEL CRYSTAL PALACE.

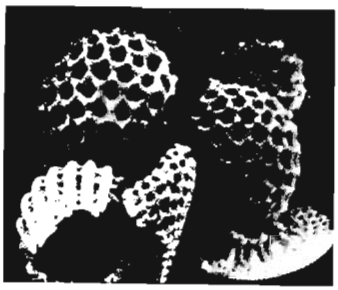
PETER S. STEVENS



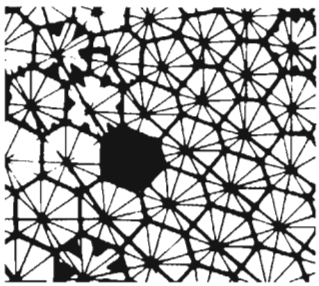
PETER S. STEVENS

más recientemente Matila Ghyka ha relacionado la estética en la naturaleza con las reglas del arte.

La preocupación por relacionar función, material y forma en la naturaleza se manifiesta también en otras áreas del conocimiento: a principios de este siglo, D'Arcy Thompson fue uno de los primeros naturalistas en abordar la naturaleza con las herramientas matemática y física.



PETER S. STEVENS



PETER S. STEVENS

LOS RADIOLARIOS, ESTRUCTURAS CONDICIONADAS POR LA TENSIÓN SUPERFICIAL, FUERON EL PUNTO DE PARTIDA PARA EL DESARROLLO DE LA GEOMETRÍA GEODÉSICA.

Ciencias de encrucijada

En el campo científico y en respuesta a la especialización cada vez más aguda que tendía a perder de vista una problemática de conjunto, la segunda mitad del siglo XX presenció el surgimiento de ciencias de encrucijada o interciencias, que agrupan a especialistas de áreas diversas con el objetivo de generar campos de reflexión y de aplicación más fértiles, por su carácter sintético, que las ciencias especializadas consideradas esencialmente ana-

líticas y percibidas como acumuladoras de conocimientos. Con las interciencias nace una actitud que se ha generalizado, una actitud multidisciplinaria frente a las diversas problemáticas humanas.

En 1960, en el marco de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, nace oficialmente la biónica, ciencia de encrucijada que agrupa a biólogos, físicos, ingenieros y matemáticos, con la intención de aplicar el conocimiento de los sistemas vivientes en la resolución de problemas técnicos.

La primera definición de biónica, atribuida al mayor Jack E. Steele, es la siguiente: "Ciencia de los sistemas cuyo funcionamiento ha sido copiado de sistemas naturales, o que presentan características específicas de sistemas naturales, o que les son análogos."[1]

Una definición más precisa se formuló 14 años después: "El estudio de los sistemas vivientes, con el objetivo de descubrir nuevos principios, técnicas y procesos que puedan encontrar aplicaciones técnicas. (...) La biónica analiza, desde un punto de vista cuantitativo, los sistemas biológicos, sus principios y sus características funcionales, buscando una fuente de inspiración para desarrollar nuevas orientaciones en la concepción de sistemas técnicos que tengan características análogas."[2]

Es interesante notar que las definiciones citadas se refieren sólo a los sistemas vivientes, y excluyen el estudio de los minerales que, también, contienen principios estructurales de sumo interés.

Biónica y cibernética

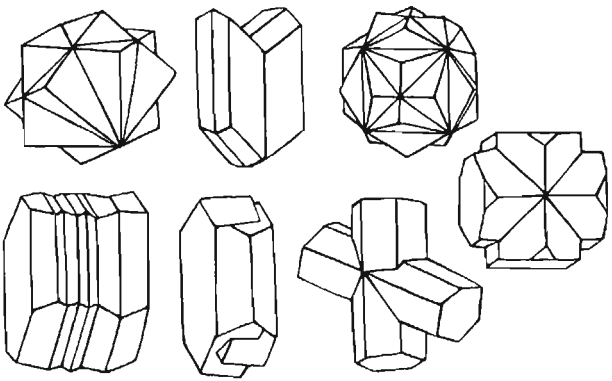
Desde sus inicios, la biónica toma una orientación particular y, de manera restrictiva, es asimilada a la cibernética, con miras a desarrollar, gracias a la electrónica, modelos de sistemas de recepción y tratamiento de información que reproduzcan los sistemas de coordinación y autorregulación de los seres vivientes.

[1] Gerardin, L., *La Bionique*, Hachette, París, 1968.
[2] Offner, D. H., "Bionics: A creative aid to engineering design" en *Mechanical Engineering*, núm. 96, julio de 1974.

Bajo esta óptica, el sistema viviente es asimilado a un sistema cibernético; el estudio de los sentidos en los animales cobra entonces un interés particular (radar, sonar, termorreceptores, etcétera).

El enfoque de la biónica hacia problemas cibernéticos se explica por las prioridades de los estrategas militares, preocupados por problemas relativos a sistemas de control, de coordinación y de detección. Esto explica también que la biónica haya limitado la observación de la naturaleza al mundo orgánico.

"Un sistema es una combinación tendiendo hacia un objetivo... un cristal no tiende hacia un objetivo, por lo tanto, no es un sistema"[3]



J. Deferne, Museum D'Historie Naturelle, Ginebra

Asociaciones de cristales.

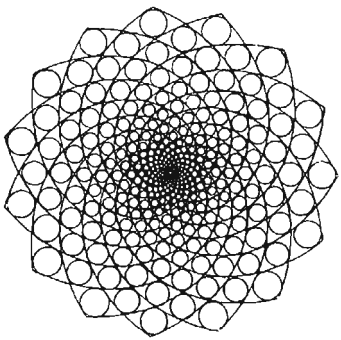
Esta afirmación, que surge del medio institucional de la biónica, es aventurada, ya que un cristal expresa siempre un equilibrio óptimo entre las fuerzas intrínsecas determinadas por los componentes minerales y sus interrelaciones, y las fuerzas extrínsecas (gravedad, presión, temperatura, etcétera).

Fredericks señala que la mayoría de las cualidades que definen a un organismo (autorregulación, desarrollo, crecimiento, etc.) caracterizan también a los sistemas inorgánicos.[4]

[3] Gerardin, L., *La Bionique*, Hachette, París, 1968.
[4] Fredericks, K., "A definition of ecology and some thoughts about basic concepts", en *Ecology* 39, 1958.

Tecnología y modelos naturales

Hoy en día se habla mucho de economía de recursos, sobre todo de recursos energéticos. Sin embargo, el discurso energético está generalmente enfocado con una óptica inmediatista que lo reduce al problema de los hidrocarburos, al problema de las fuentes de energía de origen fósil, sin considerar que la función energética se explicita, tanto cuantitativa como cualitativamente, en los artefactos y sistemas de nuestro medio ambiente artificial. Un objeto tiene un costo energético intrínseco relacionado con la calidad y cantidad de los materiales y procesos empleados en su fabricación, costos cuyas implicaciones ecológicas a largo plazo rara vez se toman en cuenta.



GYÖRGY DOCZI

Es importante hacer notar, a este respecto, que la mayoría de los "objetos" de la naturaleza responden a sus funciones en el contexto que los define, de una manera económica, y con una coherencia funcional, estructural y formal manifiesta en su organización tanto microscópica como macroscópica. Cómo no pensar entonces, como Jean Marolleau, que frente a la incapacidad del hombre para gestionar el crecimiento urbano, cuestiona:

"La biósfera pulula con modelos de expansión, modelos funcionantes y eficaces puesto que resultan de una selección natural. A falta de una mejor opción, ¿por qué no inspirarse en éstos, de manera sistemática e inteligente?" [5]

Biónica y diseño

Son pocos los antecedentes de búsqueda y aplicación de analogías naturales en el marco del diseño, en particular del diseño industrial, y es paradó-

[5] Marolleau, J., *Vivre en l'an 2000*. Presses Universitaires de France. París, 1975.

jico constatar que el diseñador en general, quien supuestamente maneja los parámetros de función, forma y material, no cuenta en su formación con una apertura hacia la observación de estos mismos parámetros y su interrelación en la naturaleza en donde las soluciones son, las más de las veces, la respuesta más económica y sintética a los requerimientos más exigentes y complejos concebibles.

Existen recientes y contadas excepciones a este estado de cosas: algunas instituciones académicas comienzan a incluir experiencias biónicas en los programas de estudio, experiencias que se desarrollan con las limitaciones que este marco implica. Las más de las veces, las incursiones en este campo se limitan a sensibilizar al alumno y, en el mejor de los casos, constituyen una continuación del curso de diseño básico con un énfasis particular en problemas estructurales.

Gui Bonsiepe, por ejemplo, menciona el "análisis formal de un fenómeno natural y su modelización tridimensional con un objetivo didáctico, la mejoría de la visión estructural y la interpretación creativa del elemento observado".[6]

A pesar de sus limitaciones, todas estas experiencias tienden a reforzarse y comienzan a conformar una herramienta proyectual prometedora.

Gui Bonsiepe, interesándose más en la creación de comportamientos análogos que de formas análogas, sugiere que el término "biónico" debe emplearse con precaución. Esto es discutible y depende en gran medida del contenido que se atribuya al término "forma".

"La forma de un objeto es un diagrama de fuerzas", dice D'Arcy Thompson.[7]

Sin embargo, el autor acierta al señalar las posibles diferencias que existirían entre la biónica tradicional, generalmente asociada a la cibernética, y una biónica aplicada al diseño industrial. Por otro lado, asistimos hoy en día a una inflación del término "biónico" que ha entrado al lenguaje cotidiano por la puerta grande de la publicidad, generando ambigüedades.

[6] Bonsiepe. Gui. *Teoría y práctica del diseño industrial*. Gustavo Gili. Barcelona. 1978.
[7] Thompson. W. D'Arcy. *On growth and form*, Cambridge University Press. 1942.

Por estas razones se propone una definición de la biónica adecuada a la actividad de diseño:

"Estudio de los sistemas y organizaciones naturales, con miras a analizar y recuperar soluciones funcionales, estructurales y formales para aplicarlas a la resolución de problemas humanos, a través de la creación de tecnologías y la concepción de objetos y sistemas de objetos."

La biónica aplicada al diseño se fundamenta en dos actividades distintas: la investigación y la experimentación básicas, por un lado, que parten de la observación de fenómenos naturales sin tener necesariamente presentes aplicaciones inmediatas. Este enfoque genera una serie de datos innovadores que posteriormente serán utilizables en proyectos específicos. La idea fundamental de esta opción es la de crear un banco de datos que alimente al diseño, no sólo en soluciones técnicas, sino también en aspectos metodológicos y conceptuales.

La otra actividad, la investigación aplicada, se fundamenta en la búsqueda de soluciones a un proyecto específico por analogía. Esto requiere no solamente de un banco de datos planteado a través de la investigación básica, sino también de un conocimiento previo del campo, de los principios que determinan las formas en la naturaleza y de una metodología de aproximación al fenómeno natural.

CAPÍTULO

2

La recurrencia de las formas

De la persistencia de las formas

A pesar de una aparente libertad absoluta de creación, el hombre recurre siempre, en sus manifestaciones materiales, a una gama de patrones o formas básicas relativamente reducida. Estos patrones son los arquetipos que subyacen en los productos del hombre y son, en general, comunes a todas las culturas y a todos los tiempos.

De alguna manera, estos constituyen símbolos que sintetizan la confrontación del hombre con su entorno, su conceptualización del universo, la formulación de eternas preguntas y el intento de hallar respuestas sobre el origen y el devenir humanos. Se originan en el amanecer de la humanidad y vencen toda intención de represión racionalista, emergiendo del subconsciente a través del acto creativo o expresivo. Por otro lado, superan siempre toda explicación reductiva.

Las interpretaciones son múltiples y diversas; tienen que serlo: por una parte, presentes en la naturaleza, estos patrones surgen también, de manera espontánea, de los procesos de abstracción, compartiendo, con las interrogantes que plantea, su naturaleza intrínseca: la universalidad.

Círculo

Se origina probablemente en la forma circular del sol y la luna, astros cuya influencia sobre los ciclos vitales fue, sin duda, percibida de forma casi inmediata. Se le asocian los conceptos de ciclo, de vida, de totalidad, de uni-

dad, de protección (características geométricas: máxima superficie "protegida" por unidad de perímetro). Simboliza también el infinito (un punto en la circunferencia recorre un camino sin principio ni fin).

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

MÁSCARA ZOOMORFA, MÉXICO.

DIAPOFILM

TETERA, DINAMARCA.

DIAPOFILM

VASIJA PARA COUSCOUS, MARRUECOS.

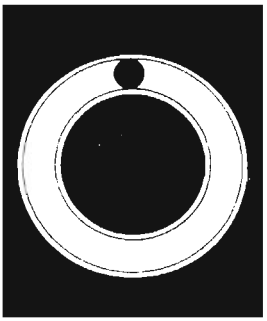
Anillo

Círculo con un centro explícito, esta forma plantea la dualidad, la interdependencia: circunferencia y centro requieren el uno del otro para existir: dos elementos que generan un sistema con un cierto grado de oposición complementaria (en una rueda de bicicleta, el sistema es tal que el rín trabaja a compresión y el eje a tensión).

JORGE ENCISO

MOTIVO PREHISPÁNICO.

En la versión material de este patrón, un orificio constituye el centro y se asocia con los orificios en el cuerpo humano, relacionando esta forma con la sexualidad, la fertilidad y con una visión antropocéntrica del mundo (ombligo). También asociado a la noción de protección, el orificio (la puerta) vincula lo exterior con lo interior y simboliza el umbral de lo desconocido.

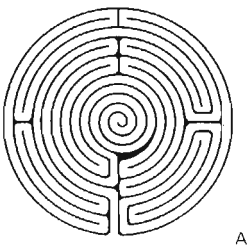


Fabricio Vanden Broeck

Pulsera contemporánea
en plata y obsidiana, México.

Círculos concéntricos

Simbolizan una cierta isometría del cosmos, compuesto por diferentes "esferas" de experiencia o de existencia que se suceden en un orden congruente y jerárquico. Originan una visión particular del cuerpo humano en forma de sistemas concéntricos (p. ej.: piel, caja toráxica, pulmones).



A

B

C

Tres imágenes de laberinto.
a) Finlandia (edad de bronce),
b) Inglaterra (siglo xix)
y c) Francia (Chartres).
Fuente: C. G Jung
L'homme et ses symboles.

MATRUSHKAS RUSAS QUE SE CONTIENEN UNA DENTRO DE OTRA.

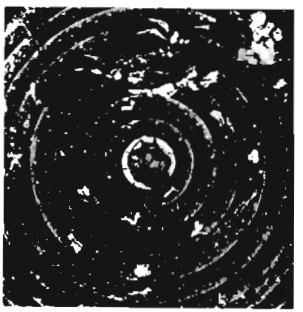
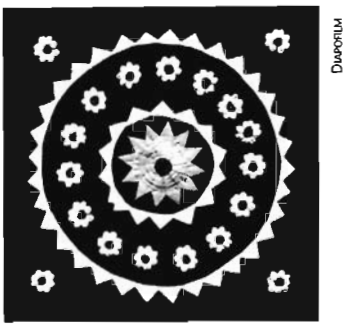


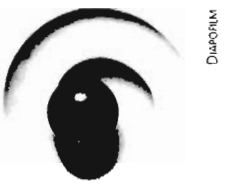
IMAGEN DE TRASCENDENCIA ESPIRITUAL. MAHOMA SOBRE SU YEGUA ALADA ATRAVIESA LAS ESFERAS CELESTES. FUENTE: C. G. JUNG, *L'HOMME ET SES SYMBOLES*.



DECORADO DE TECHO, INDIA.

Espiral

Simboliza también las diversas esferas de existencia, aunque, a diferencia de los círculos concéntricos que configuran mundos aislados, la espiral contiene en sí misma el hilo conductor que permite pasar de uno a otro.



CENICERO, ITALIA.

FABRICIO VANDEN BROECK

ESCALERA, LA SAGRADA FAMILIA, BARCELONA.

Representa a la vez la búsqueda interior y la expansión hacia el exterior.

Símbolo de la evolución, la helicoide, versión vertical de la espiral, se asocia a la noción de tiempo cíclico. En proyección horizontal aparece como un círculo simbolizando el retorno cíclico de las épocas. En realidad, ese retorno se hace con un cierto desfasamiento, el tiempo lineal, sintetizado por el trayecto vertical de la helicoide.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

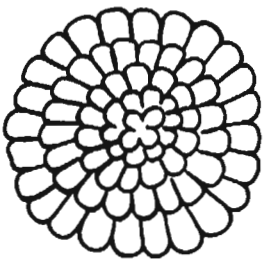
POSAPLATOS DE PAJA.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

ESCALERA EN ESPIRAL.

Forma radiante

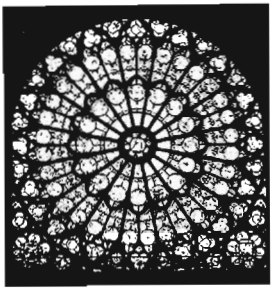
Derivada del sol, fuente radiante de energía es un símbolo ligado a la expansión, a la vida, al dinamismo. Se le encuentra también expresado en la naturaleza en forma de organismos vegetales y animales.



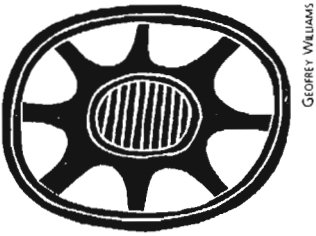
ARCHIVO GENERAL DE LA NACIÓN

MOTIVO PREHISPÁNICO RELATIVO A FLORES.

C. G. Jung



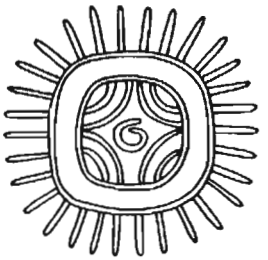
Vitral de la catedral de Notre-Dame, París.



Geoffrey Williams

Motivo decorativo Kuba de la región del Congo-Kinshasa, África.

Archivo General de la Nación



Motivo prehispánico relativo a flores.

C. Righi

Escultura, Oscar Niemayer, Brasil.

Cruz

Constituye uno de los símbolos más abstractos, ya que no encontrándose referencias directas en la naturaleza, requirió, sin duda, de un proceso de mayor reflexión. Aparece en culturas tan alejadas una de otra como la maya y la hindú.

Diversos orígenes le son atribuidos: se le relaciona con la ubicación de los cuatro puntos cardinales; otras explicaciones destacan la oposición entre la vocación espiritual del hombre (verticalidad) y su condi-

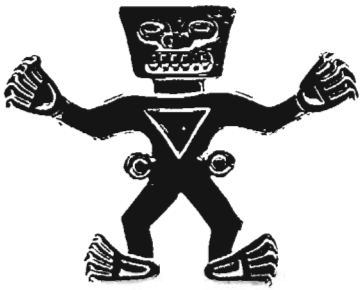
Fabricio Vanden Broeck

Cruz huichol, México.

ción material, atada a las vicisitudes de la vida terrenal (plano horizontal de existencia, plano inferior, etcétera).

JORGE ENCISO

MOTIVO PREHISPÁNICO DE TRES ZAPOTES, VERACRUZ.



GEORGINE OERI

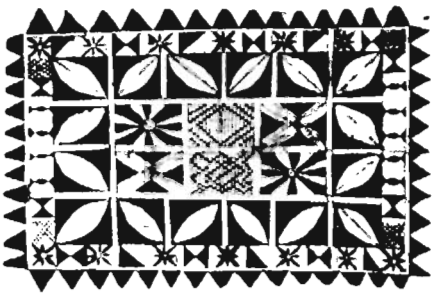
FIGURA PRECOLOMBIANA, PANAMÁ.

Cuadrados y rombos

Formas derivadas del símbolo de la cruz y asociadas a éste (las diagonales de un cuadrado constituyen una cruz y, viceversa, el envolvente de la cruz es un cuadrado), asimismo, se relacionan con el triángulo (base amplia y dos lados que convergen en un punto situado "arriba").

JORGE ENCISO

MOTIVO PREHISPÁNICO PROVENIENTE DE TEOTIHUACÁN.

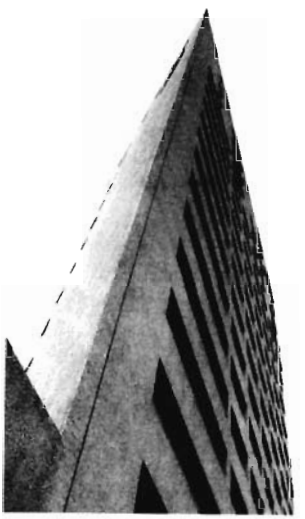


DIAFOTILM

BATIK, OCEANÍA.

Formas de verticalidad

Asociadas o no al círculo o a la esfera, las formas verticales son relativamente antropomórficas. Simbolizan el carácter erecto del hombre y, a través de una cierta connotación fálica, implican también la noción de fuerza.



FABRICIO VANDEN BROECK

C. R. C. T., FRANCIA

GEORGINE OERI

VENUS DE LESPUGUE,
FRANCIA (*CIRCA* DE 40 000 AÑOS AC).

Operaciones

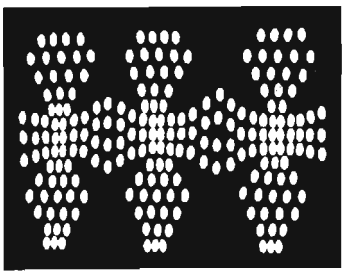
Los objetos, artefactos y manifestaciones artísticas del hombre constituyen un lenguaje que recurre a formas básicas, que luego son combinadas e interrelacionadas. En estos procesos, el hombre hace uso de una sintaxis formal que tiende a reducirse a unas cuantas operaciones que, como veremos, son válidas en todos los tiempos y culturas.

Expansión–contracción

Operación relacionada con la dualidad dinámica de la vida. Se manifiesta en ciertas funciones rítmicas como son la respiración y el flujo y reflujo de las mareas. Es una de las primeras operaciones que el hombre descubre, de manera intuitiva, en sus confrontaciones expresivas con la materia maleable. Aparece en casi todas las formas relacionadas con la función contenedora (jarras, copas, etcétera).

GEORGINE OEPI

FORMA FEMENINA, ISLA DE AMOYOS EN LAS CECLADES (*CIRCA* DE 2500 AÑOS AC).



TRONCO COMÚN, UAM

EJERCICIO DE DISEÑO BÁSICO, UAM.

La expansión–contracción aparece también en las variaciones graduales de tonalidad e intensidad de color y variaciones de tamaño, en un conjunto de elementos similares.

El contraste entre expansión y contracción es utilizado con fines expresivos, las formas expansivas asociándose a una propiedad formal que J. J. Beljon define como "persistencia corpórea".

División

Emparentada o no a la distinción de funciones, la división es utilizada para generar jerarquías y ritmos, o para evidenciar módulos generadores en estructuras asociativas.

Articulación

Nace de la voluntad de interrelacionar las partes de un todo de manera dinámica. Esta interrelación, a veces necesaria por cuestiones funcionales, es acentuada y en algunos casos exagerada con fines expresivos.

C. R. C. T., Francia

En los automóviles de los años cuarenta la tendencia estética se dirigía, en Europa, hacia las formas monolíticas en donde las necesarias articulaciones funcionales eran disimuladas. En América, por otro lado, la tendencia era diferenciar los componentes y resaltar las uniones, con cambios de material, textura y color.

C. R. C. T., Francia

Fabricio Vandeh Broeck

Desmembrar

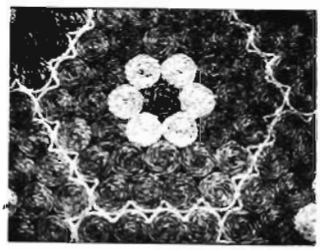
Operación de articulación llevada al extremo, donde la intención es destacar la independencia de las partes de un todo, maximizando el grado de libertad entre éstas y minimizando la importancia visual de las uniones.

C. R. C. T., Francia

Agrupar

C. R. C. T., Francia

Esta operación surge con la repetición de un elemento o la confrontación de varios elementos diferentes y la exploración de los posibles acomodos relativos.

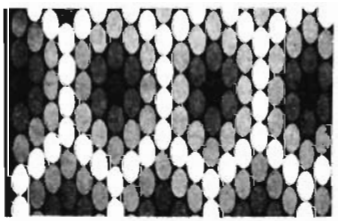


Diapofilm

Posaplatos en cuerda, Filipinas.

El hombre, como la naturaleza, tiende, de manera natural, a agrupar elementos según ciertos criterios (afinidad de naturaleza, afinidad de objetivos, etcétera).

La concepción modular del diseño en los años sesenta es un buen ejemplo de una exploración del concepto del agrupamiento (muebles y oficinas modulares, de agrupamiento versátil) catalizada por la necesidad de minimizar el espacio.



Tronco común, uam

Ejercicio de diseño básico.

Manifestación, Barcelona, España.

C. R. C. T., Francia

Sistema de mobiliario modular.

Jerarquizar

Con el agrupamiento surge la noción de orden, asociada a la operación de jerarquización. Los poblados europeos, sobre todo los mediterráneos cuya estructura es de herencia medieval, presentan una marcada jerarquización; el elemento más importante (iglesia, catedral, castillo) es el primero que se percibe desde lejos, siendo el elemento más elevado del conjunto.

DIAPOFILM

En la mayoría de las construcciones tradicionales, la jerarquía se establece por la diferenciación entre la parte inferior y la superior. La dicotomía "arriba–abajo" destacada por J. J. Beljon presenta, en la parte inferior, los elementos más pesados, aquéllos que arraigan la construcción a la tierra, a lo material (concepto de raíces), mientras la parte superior tiende a ser ligera y fina, adquiriendo un carácter etéreo. El conjunto asume una forma global de tipo piramidal. La simetría bilateral es también, en muchos casos, generadora de jerarquías como en la arquitectura tradicional, en donde una intensidad *in crescendo* de los extremos hacia el centro focaliza la atención sobre el eje de simetría, el elemento central, el más importante.

DIAPOFILM

DIAPOFILM

Aumentar–complicar

Nace de la necesidad de decorar, cargando así los objetos de valor simbólico. Existen culturas con una mayor o menor predisposición al decorado que llevado al exceso conduce al barroco. Tenemos ejemplos de esta tendencia en la India y en México (colonial barroco).

A. HENAINE

FACHADA BARROCA
DE LA CATEDRAL DE ZACATECAS.

Por otro lado, en la cultura occidental observamos la alternancia de periodos barrocos con periodos de tendencias puristas o minimalistas (simbolismo–funcionalismo, moderno, post–moderno, etcétera).

La psicodelia, asociada al misticismo, a las drogas, al simbolismo y a la India, fue un fenómeno típicamente barroco.

R. ESTRADA

FACHADA DEL TEMPLO DEVI JADAMBI
EN KHAJURAHO, INDIA.

Reducir–disminuir

Esta operación implica dos conceptos: uno, la reducción de tamaño, la tendencia a la miniaturización, relacionado con la necesidad de recrear la realidad; y otro, la simplificación sintética de la forma que elimina detalles superfluos.

Según J. J. Beljon, los mapas y los planos (proyecciones horizontales) representan, más allá de su valor utilitario, una intrínseca necesidad del hombre, en toda cultura, de modelizar el cosmos que, visto desde arriba, puede ser dominado. El hombre se vuelve así una especie de dios creador

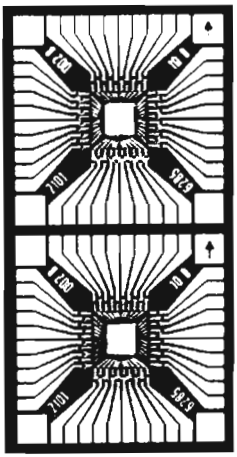
que reina sobre su creación. De esta manera el hombre sublima su condición de componente pasivo de una creación que no controla.

C. R. C. T., Francia

Cuchara tradicional china en cerámica.

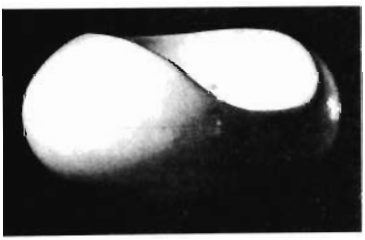
De hecho, la arquitectura tradicional empieza por una proyección horizontal trazada sobre la tierra. Más allá de su función, la arquitectura es el planteamiento de una visión del cosmos (generalmente antropocéntrica). Por otro lado, reducir implica también simplificar, llegar a la esencia. Así como tenemos culturas que se expresan de manera barroca, existen también culturas minimalistas, como la del Japón, que han inspirado los periodos minimalistas en la cultura occidental contemporánea.

C. R. C. T., Francia



C. R. C. T., Francia

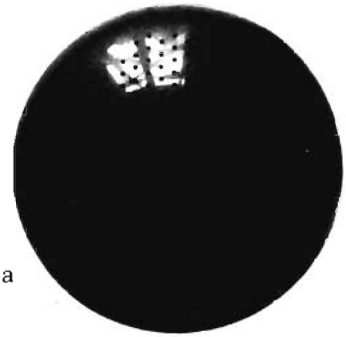
Chips en banda.



C. R. C. T., Francia

Sillón en plástico, Pastelli, 1968.

Unificar



DIAPOFILM

RADIO, FRANCIA.

La búsqueda de la unificación se relaciona con el proceso de síntesis en el manejo de varios elementos. La búsqueda del hilo conductor, del patrón sinergético que une elementos independientes y aparentemente desligados, constituye la búsqueda por la unificación.

Ésta puede ser lograda por la introducción de un elemento de unificación, o por la explicitación del lazo latente entre elementos o del objetivo del sistema (la función, en el caso de un producto). "El objeto es más que la suma de sus partes".

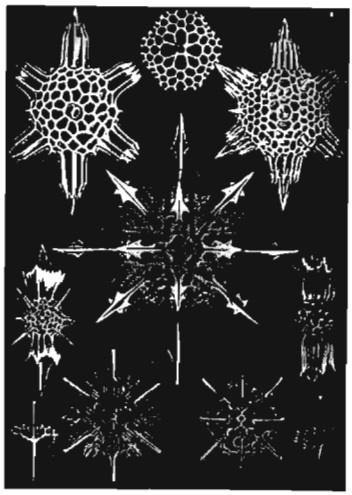
CAPÍTULO

3

Patrones en la naturaleza

Las formas en la naturaleza están determinadas por la interacción de fuerzas intrínsecas y extrínsecas. Toda forma es un equilibrio entre estas dos fuerzas.

Un copo de nieve caracteriza todas las formaciones cristalinas: las opciones de formas externas son controladas por la simetría interna del acomodo atómico, y la forma particular adoptada por un cristal es determinada por la acción del medio (temperatura, presión, humedad, etcétera).



E. HAECKEL

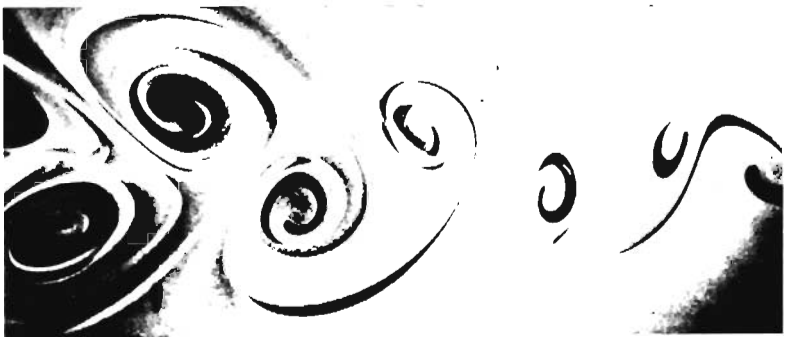
A PESAR DE TRATARSE DE MICROORGANISMOS UNICELULARES, ES DECIR SENCILLOS EN EXTREMO, LOS RADIOLARIOS PRESENTAN UNA GRAN VARIEDAD DE FORMAS DENTRO DE UN PATRÓN CONSTRUCTIVO.

Detrás de la aparente diversidad de las manifestaciones de la naturaleza, existe una unidad debida a que éstas resultan de la combinación de unos cuantos principios constructivos básicos, asociados a unas formas básicas de las cuales se derivan todas las demás. Generalmente estos principios se suceden en los procesos formativos.

2893408

Flujos

Toda materia fluye, como resultado de la confrontación de fuerzas externas con internas (p. ej.: el crecimiento).



PETER S. STEVENS

VÓRTICE.

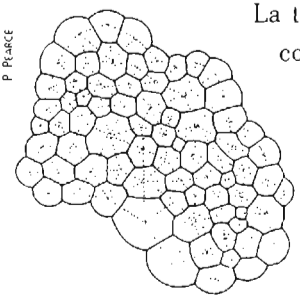
WILLIAM M. HARLOW

Observamos formas fluentes en la confrontación de dos fluidos diferentes.

Las estructuras de la madera y los huesos acusan formas fluentes; ambas crecen a lo largo de las líneas de esfuerzo.

CORTE LONGITUDINAL DE MADERA DE CEDRO.

Tensión superficial, agregación celular



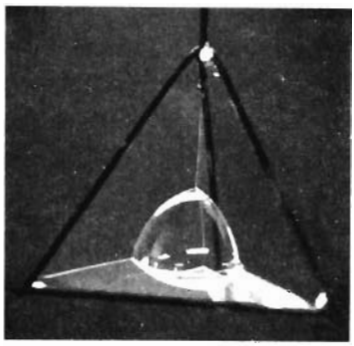
P. PEARCE

AGREGACIÓN ESPONTÁNEA DE BURBUJAS DE JABÓN.

La tensión superficial está asociada a la capacidad contractiva de un líquido que, oponiéndose a las fuerzas disociativas externas (movimiento, en este caso) produce específicas formas.

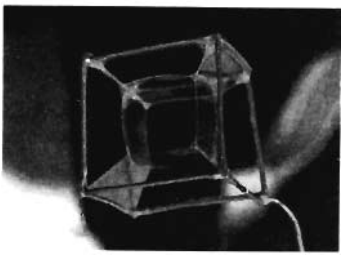
En ciertas fases de la interacción de un fluido con otro (agua–gas, membrana celular–citoplasma), observamos una relación contenedor–contenido asociada a un patrón, la agregación celular, en donde el fluido más denso juega el papel de contenedor sin perder su cohesión.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

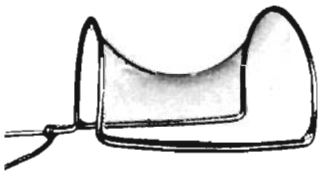


LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

Tanto en el plano como en el espacio, la agregación celular genera geometrías de acomodo. Así se trate de átomos en los cristales o de células en las formas orgánicas, la disposición relativa de estos elementos define una geometría.



LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM



LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

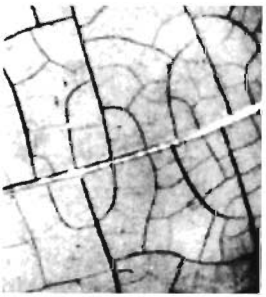
EL AGUA JABONOSA GENERA, POR CONTRACCIÓN, SISTEMAS DE SUPERFICIES MÍNIMAS EN FUNCIÓN DE LOS PERIMETROS DE ALAMBRE UTILIZADOS.

Craquelamientos

Aparecen en emulsiones (p. ej.: tierra con agua) cuando las fuerzas externas vencen a la fuerza contractiva (p. ej.: tensión superficial), que daba cohesión a la emulsión. El proceso de vencimiento de la fuerza contractiva

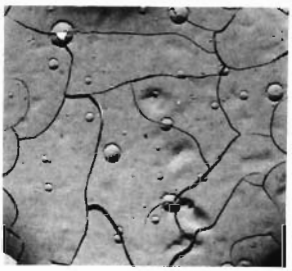
es un proceso susceptible al tiempo en donde los craquelamientos se suceden jerárquicamente: primero sucede una cisión primaria, luego varias secundarias y muchas más terciarias.

Se establece un nuevo equilibrio con la formación de módulos separados por uniones triples y ángulos que tienden a los 90 grados. A la unidad (líquida) sucede la multiplicidad (sólida) por división.



LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

ESQUEMA DE CRAQUELAMIENTO EN UNA SUPERFICIE DE CERÁMICA.

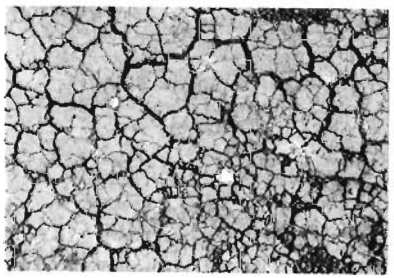


LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

LA CORTEZA DEL ÁRBOL SE CRAQUELA POR EL CRECIMIENTO TRANSVERSAL DEL TRONCO Y LA PÉRDIDA DE ELASTICIDAD DE LA CORTEZA LIGADA AL AUMENTO DE SU ESPESOR.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM



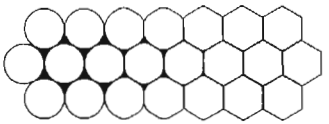
LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

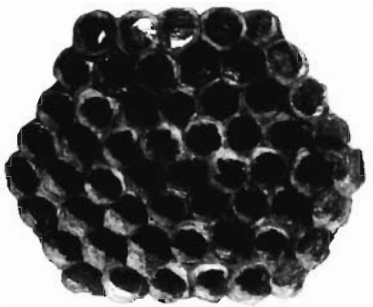
LA MADERA SECA SE CRAQUELA RADIALMENTE SIGUIENDO LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO.

Apilamiento compacto

Se caracteriza por la búsqueda de economía de espacio promovida por la acción de fuerzas externas sobre varios elementos semejantes. Las piedras tienden a acomodarse entre sí del modo más compacto posible, minimizando los intersticios, lo que implica un acomodo cuatrapeado.

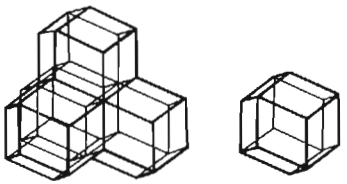


P. Pearce



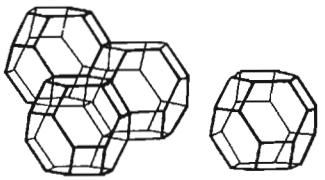
A. Vanden Broeck

Panal de abejas.



P. Pearce

1. Dodecaedro rómbico.



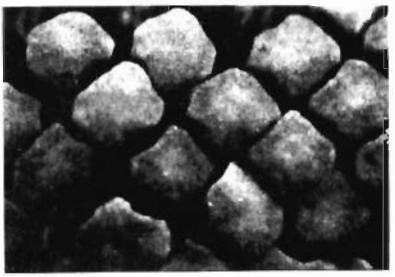
P. Pearce

2. Octaedro truncado.

Sobre el plano, el apilamiento compacto de una serie de círculos elásticos que son comprimidos hasta eliminar los intersticios, forma una red hexagonal caracterizada por uniones triples.

Laboratorio de Diseño VIII, UAM

En el espacio, esferas comprimidas definen geometrías según el grado de compresión y de acomodo.



Fabricio Vanden Broeck

Fabricio Vanden Broeck

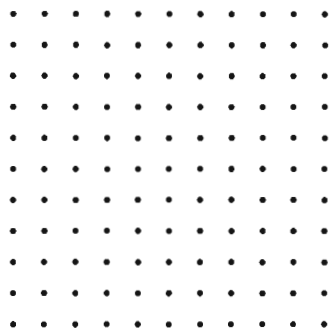
CAPÍTULO

4

Esquemas de organización de recursos

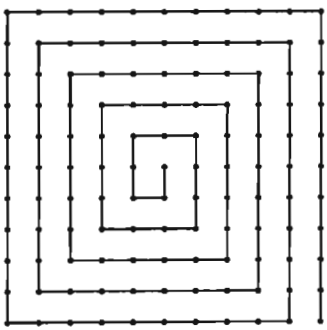
Stevens propone un problema abstracto en torno a la distribución de recursos, consistente, con base en el diagrama siguiente, en unir mediante segmentos el punto central (originador de recursos) con todos los demás, a manera de satisfacer los siguientes requisitos:

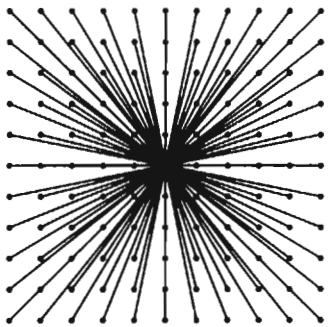
- Directividad.
- Ocupación uniforme del plano.
- Economía.



Dos puntos no pueden ser unidos más que por un solo segmento.

Rápidamente aparecen dos soluciones extremas: la espiral y la explosión.

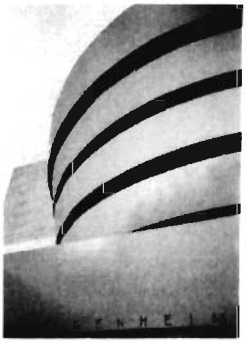




Espiral

La espiral es económica (pocos segmentos involucrados), ocupa el espacio de manera uniforme, pero es terriblemente indirecta ya que para llegar al último punto, partiendo del centro, es necesario pasar primero por todos los demás.

El modelo espiral es un modelo adecuado para recorrer sistemáticamente un terreno o un espacio. Fue el modelo utilizado por F. L. Wright para el diseño del Museo Guggenheim en Nueva York.



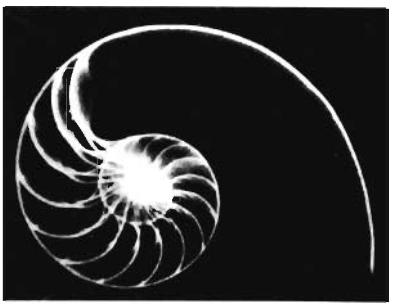
GUGGENHEIM MUSEUM, N. Y.

GUGGENHEIM MUSEUM, N. Y.

KNUT SCHMIDT-NIELSEN

INVOLUCIONES ESPIRALADAS EN LA NARIZ DEL CAMELLO. ÉSTAS MAXIMIZAN EL RECORRIDO DEL AIRE Y PERMITEN LA MÁXIMA ABSORCIÓN DE LA HUMEDAD CONTENIDA EN ÉSTE.

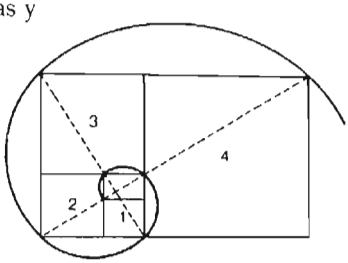
Es también un modelo útil para compactar un recorrido lineal largo en el menor espacio posible; las escaleras "en espiral" (en realidad helicoide) ocupan un espacio mucho menor que las escaleras convencionales, con la ventaja adicional de que el trayecto se realiza con un paso constante que minimiza la energía total utilizada.



A. MONTU

LA CONCHA COMPARTIMENTADA DEL NAUTILUS FORMA UNA ESPIRAL LOGARÍTMICA.

Los cuernos espiralados de ciertas cabras y borregos compactan el material alrededor del punto de origen, evitando así los momentos de flexión que se concentrarían en la cabeza si el crecimiento fuera menos compacto.



A. Moniu

Espiral y crecimiento exponencial.

A. Vanden Broeck

Al adoptar el modelo espiral para su crecimiento, este molusco logra compactarse y constituir una resistente estructura esferoidal.

T. A. Cook

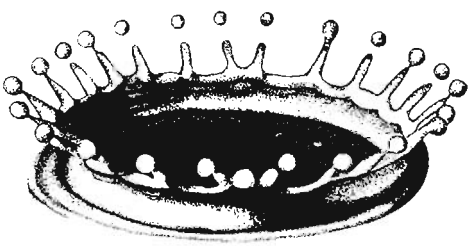
Formación espiralada de cristales de proclorita.

Explosión

Por otro lado, la explosión es muy directa pero utiliza muchos más segmentos y concentra el material en torno a un punto, dispersándolo conforme avanza hacia el exterior. El modelo de la explosión aparece cuando el imperativo es la directividad (plantas desérticas cuyas hojas deben recibir agua de las raíces lo más directamente posible).

La explosión también se manifiesta por la necesidad de una rápida dispersión: una piedra golpeando un vidrio produce una energía de impacto

que debe ser dispersada lo más rápidamente posible. Se logra esto por medio del patrón de explosión, al igual que una gota cayendo sobre una superficie. La explosión, patrón centralizador, conviene en casos donde los recursos son limitados, o bien cuando son pocos los elementos centralizados.



Miguel Pérez

Pero a partir de una cierta escala, la centralización se logra con costos muy elevados: un sistema gigantesco de conexiones que consume mucha energía y congestiona el centro.

Ciertas capitales, que centralizan en exceso los recursos y decisiones de un país, vuelven el sistema global lento, ineficiente e improductivo a partir de cierta escala, como sucede en México, DF.

Fabricio Vanden Broeck

Fabricio Vanden Broeck

Ciertos semilleros adoptan una organización en explosión para maximizar las oportunidades de dispersión de las semillas contenidas en cada receptáculo. La dispersión sucede cuando estos semilleros, sostenidos por largas varas, son agitados por el viento.

Un patrón más descentralizado, como la organización política de Suiza con base en cantones con un alto grado de autonomía, permite un desarrollo más equilibrado, minimizando los costos de mantenimiento y las pérdidas por fricción en la red de conexiones.

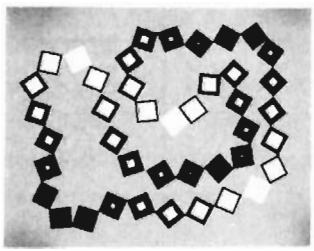
FABRICIO VANDEN BROECK

AGLOMERACIÓN METROPOLITANA, MÉXICO, DF.

Entre los dos patrones extremos, espiral y explosión, aparece una serie de posibilidades intermedias que satisfacen medianamente todos los requisitos. Varios de éstos presentan un orden jerárquico.

Meandro, ramificaciones y otros esquemas

El meandro es una variante de la espiral. Tiene propiedades similares, el mismo recorrido total y la misma indirectividad. Para recorrer sistemática y económicamente un terreno, las excavaciones arqueológicas siguen, en general, un trayecto en forma de meandro. El intestino humano mide cerca de seis metros lineales, compactados en un volumen reducido con base en el patrón del meandro.

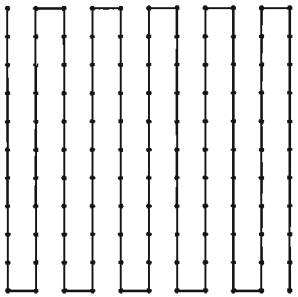


TRONCO COMÚN, UAM

EJERCICIO DE DISEÑO BÁSICO.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

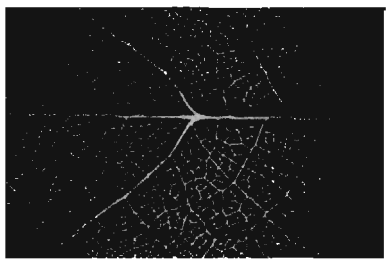
LAS MANGUERAS PARA USO EN CASO DE INCENDIO SE ALMACENAN SEGÚN UN PATRÓN EN MEANDRO, COMPACTÁNDOSE ASÍ CUANDO NO SE NECESITAN. EL INTESTINO HUMANO ESTÁ DISPUESTO EN FORMA SIMILAR.



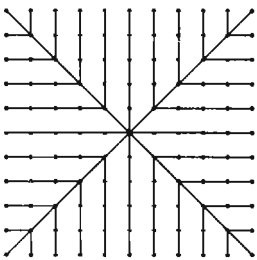
EDGAR VARGAS

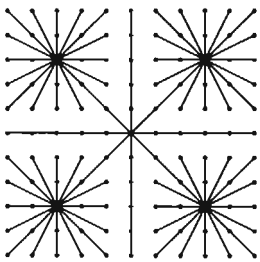
Las ramificaciones introducen la noción de jerarquía y se obtienen entonces ramales de primero, segundo y tercer grado, etc., estableciendo toda una tipología jerárquica. La jerarquía introducida en el modelo de explosión permite el establecimiento de centros intermedios, lográndose así un esquema más económico y uniforme desde el punto de vista espacial.

Todos estos patrones aparecen, en una gran variedad de formas, en las situaciones intermedias entre espiral y explosión, y corresponden a exigencias igualmente intermedias.



WILLIAM M. HARLOW





CAPÍTULO

5

Fluidos

La materia fluye

Toda la materia fluye, amoldándose de esa manera a los esfuerzos externos, acusando con su forma una confrontación dinámica con su medio.

Nuestra percepción de la materia sólida está condicionada por el breve periodo de observación al que la sometemos.

C. Williams plantea que si se le concede el tiempo suficiente, toda la materia es fluida.

"La geología como estudio del tiempo y de la materia, ve cómo la rígida estructura de la superficie terrestre se levanta, se incorpora, se pliega y se desliza, igual que una sábana agitada por el viento. La visión del geólogo es desde una perspectiva de billones de años, tras la cual el panorama de las formas terrestres pasa como relámpago".[1]

WILLIAM M. HARLOW

De hecho muchas montañas acusan formas que sugieren flujos de líquidos inmovilizados.

En general, la materia sufre un proceso ininterrumpido de fluidez, inducido por las fuerzas del medio. Este fenómeno se relaciona con la cantidad de energía presente en la materia, que permite una mayor o una menor actividad molecular.

[1] Williams. Christopher. *Los orígenes de la forma*. Gustavo Gili. Barcelona. 1984.

A cierta temperatura, el hierro se vuelve líquido: acusa una gran actividad molecular y deformabilidad; toma la forma del recipiente que lo contiene. Se encuentra en estado fluente y puede estirarse sin perder su cohesión. Todo esto debido a la energía térmica absorbida que provoca la excitación de sus moléculas. Estas vibran alejándose unas de otras, su materia se ha dilatado con respecto al estado sólido. Al bajar la temperatura, disminuye la actividad molecular, el hierro comienza a cristalizarse, el espacio intermolecular se reduce formándose una retícula cristalina: se dice que el material es un sólido.

Las cargas lentas trasmiten energía a un sólido y, a la larga, lo hacen fluir (vencimiento de una estructura o escurrimiento en un material).

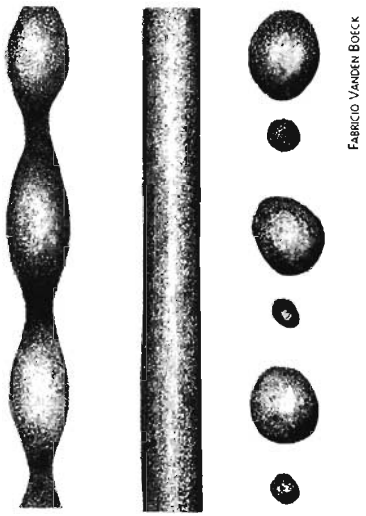
Las formas del agua

El agua es el arquetipo de los fluidos, y sus características la relacionan con ciertos patrones formativos.

Esfera, agua

En cualquiera de sus manifestaciones, el agua tiende a minimizar su superficie en relación a su volumen y, según T. Schwenk, en última instancia, tiende a adoptar una forma esférica.

Un charco, como un lago, es una manifestación del agua en situación estable. El agua, al circular sobre un terreno, busca siempre depresiones que le permitan estabilizarse y almacenarse minimizando así su relación superficie/volumen.



Fabricio Vanden Boeck

A un nivel micro de observación, un pequeño chorro de agua cayendo tiende a disgregarse o desmembrarse formando gotas, debido a que la tensión superficial del agua es una fuerza constante y no puede mantener su cohesión más que con el volumen contenido en una gota. El chorro, cuando es pequeño, ondula y se separa en gotas.

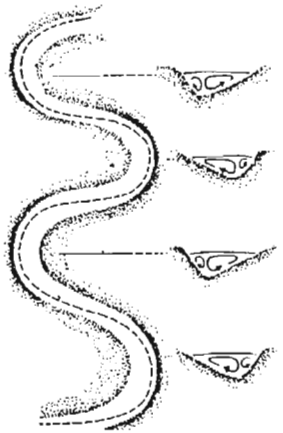
Meandro y agua

La forma en meandro de un río es, según T. Schwenk, un comprometido entre la tendencia natural del agua a formar una esfera (tendencia contractiva) y la acción de la fuerza de gravedad que jala al agua hacia abajo: según el autor, el meandro manifiesta, en cada curva, la intención de retorno hacia arriba, finalmente vencida por la gravedad.

Fabricio Vanden Broeck según T. Schwenk

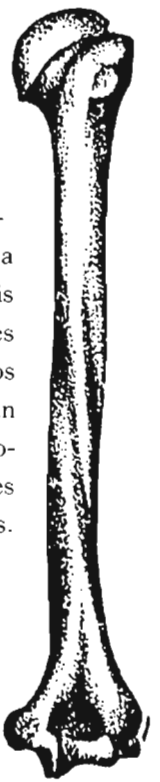
Helicoide y agua

T. Schwenk explica que la forma de meandro de un río está sustentada por movimientos revolventes más finos: el agua en la superficie de un río fluye del interior hacia el exterior de una curva en donde se sumerge para regresar por debajo del río y emerger en el interior la siguiente curva, más abajo. Este movimiento, combinado con el movimiento descendiente de la corriente del río, forma, según T. Schwenk, dos sistemas independientes de flujos helicoidales.



T. Schwenk

De hecho, muchos organismos acuáticos, sobre todo los más primitivos, presentan formas que recuerdan el movimiento helicoidal del agua. Esto es porque la materia que los conforma es predominantemente líquida, pero también porque su sistema de locomoción aprovecha la dinámica del agua sugiriendo formas coherentes con dicho medio. En este sentido, las primeras formas de vida son sólo ligeras "diferenciaciones" del medio, tanto en substancia como en forma.



T. Schwenk

El agua, denominador común a todos los sistemas vivientes, influye también en la forma de los organismos más desarrollados, imprimiéndoles su dinámica. Las fibras de los músculos en el hombre adoptan formas fluidas que se acomodan helicoidalmente, como es también el caso de los huesos.

T. Schwenk

Espiral y vórtices

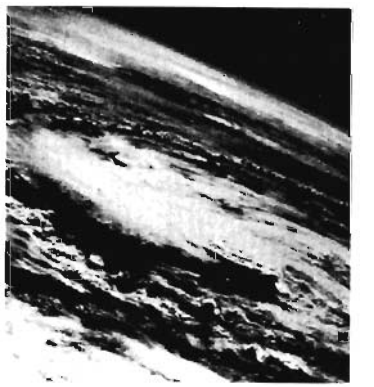
Las superficies de interfase que aparecen en el contacto dinámico de dos fluidos de diferente naturaleza, velocidad, temperatura o densidad, generan vórtices cuyo proceso de formación sigue una secuencia:

1. Ondulamiento de las superficies en contacto.

2. Sobreposición de los dos fluidos (las crestas de ambos tendiendo a sobreponerse una a otra).

3. Formación de vórtices espiralados.

T. SCHWENK

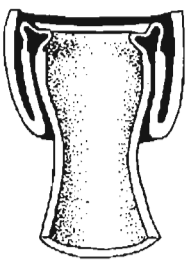


HOLT, RINEHART & WINSTON

Los vórtices conforman involuciones localizadas que viajan con la corriente general, pero de manera relativamente aislada, creando un momentáneo espacio diferenciado.

T. Schwenk nos dice que las involuciones son un proceso fundamental ligado a la formación de estructuras orgánicas (invaginación, gastrulación, etc.). En el espacio formado por las involuciones se genera un microclima propicio al desarrollo orgánico. Encontramos también este principio de involución en los procesos de diferenciación:

T. SCHWENK



FORMACIÓN DE ARTICULACIONES EN INSECTOS.

El exoesqueleto en placas articuladas de insectos y artrópodos es en realidad una membrana continua: las articulaciones se forman por una combinación de adelgazamiento e involución de la membrana.

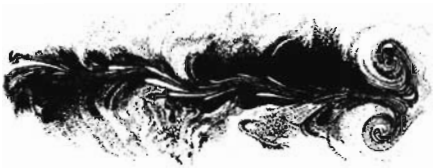
Por otro lado, observamos vórtices en la forma de sistemas altamente fluidos o cuyo flujo es muy rápido, como los hongos, que prácticamente emergen del suelo en un día, y la medusa, que tiene un sistema de lo-

2893408

EDGAR VARGAS

MEMBRANA ARTICULAR EN RHODRIUS Y TENEBRIO, DOS TIPOS DE ARTRÓPODOS.

comoción adecuado a su forma: la propulsión a chorro. El agua expulsada por contracción muscular genera un vórtice, reflexión especular de la medusa.



MIGUEL PÉREZ SUGUN T. SCHWENK

E. BURGOS

Ramificaciones

El agua, nos dice Schwenk, es el elemento circulatorio, lazo de unión entre sistemas.

En la naturaleza se observa la tendencia de las corrientes de agua a interconectarse. Los ríos fluyen a partir de fuentes diferentes y, por su dinámica, tienden a juntarse formando una red ramificada. En última instancia, todos los ríos llegan al mar y, dada la forma esférica de la Tierra que constituye una superficie continua, todos los flujos de agua están interconectados. En el hombre, el sistema circulatorio es uno solo e interrelaciona a todos los órganos.

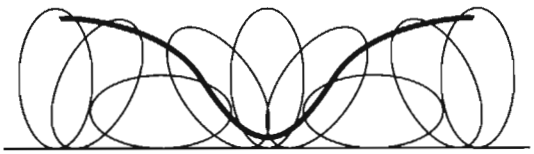
Tensión superficial

La tensión superficial es la fuerza contractiva que mantiene en cohesión las moléculas del agua en la superficie de contacto con el aire u otro fluido. A esa fuerza contractiva se asocia una serie de superficies mínimas características del agua a un cierto nivel de observación: las superficies de revolución de Plateau.

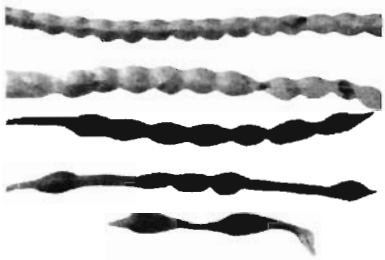
Superficies de Plateau

Las superficies de revolución de Plateau, relacionadas entre sí, surgen todas de curvas derivadas del cono: la elipse, el círculo, la recta, la parábola y la hipérbola.

Si se genera un sólido de revolución a partir de la trayectoria de uno de los focos de una elipse que se desplaza rotando sobre una línea, se obtiene un onduloide.

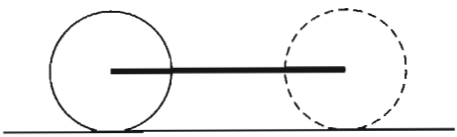


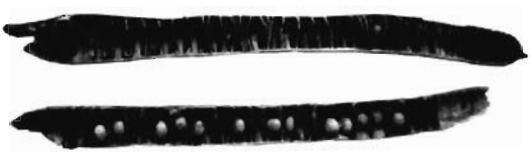
El centro de un círculo rodando sobre una recta describe una recta. El sólido de revolución generado por la segunda recta, con respecto al eje de traslación, es un cilindro.



FABRICIO VANDEN BROECK

SEMILLAS CON ENVOLVENTE DE FORMA ONDULOIDE.

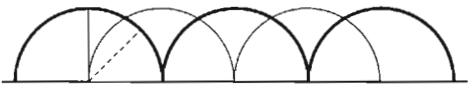


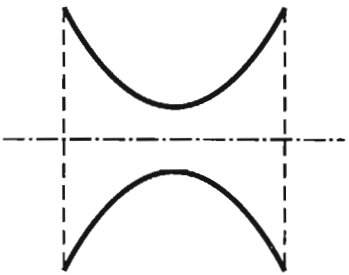


FABRICIO VANDEN BROECK

SEMILLAS DE ACACIA

La recta puede considerarse un caso particular del círculo. Cada uno de sus extremos genera, al rodar sobre una línea, una serie de semicírculos que, revolucionados con respecto a la recta, forman unas esferas tangentes.





CATENOIDE.

La parábola produce, en revolución con respecto a un eje, una superficie llamada catenoide.

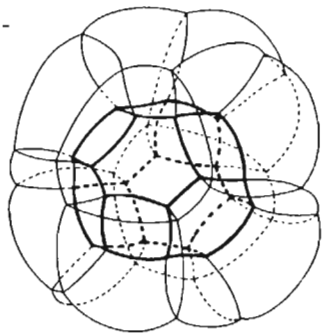
La hipérbola genera una superficie llamada nodoide, difícil de visualizar y que consiste en una superficie con involuciones. Encontramos un ejemplo de esta superficie en el stentor, un infusorio ciliado.

De hecho, en la naturaleza y en los fenómenos vinculados con los líquidos, se presentan estas diversas superficies, por separado o relacionadas. La salpicadura es un modelo en donde observamos la transición del cilindro a la esfera, pasando por el onduloide.

NODOIDE.

Tensión, superficie y apilamiento compacto

A un nivel relativamente micro de observación, el agua agitada interactúa con el aire formando burbujas en donde la presión del aire es compensada por la tensión superficial del agua. Se puede visualizar mejor este fenómeno agregando jabón al agua, lo cual aumenta su viscosidad y confiere mayor estabilidad al fenómeno.



P. PEARCE

EL POLIEDRO DE KELVIN RESULTA DEL APILAMIENTO COMPACTO DE BURBUJAS DE JABÓN EN CONDICIONES IDEALES DE SIMETRÍA Y UNIFORMIDAD. ESTÁ FORMADO POR HEXÁGONOS DE DOBLE CURVATURA Y CUADRADOS CUYOS LADOS SON CONVEXOS.

Cada burbuja tiene dos superficies, una interna y otra externa. Dos burbujas separadas tienden a unirse ya que cada una minimiza su superficie al poner una parte de ésta en contacto con la otra.

El acomodo de las burbujas de jabón en conglomerado, regido por la tendencia a la minimización de superficies, responde a unas reglas geométricas y matemáticas muy precisas. La intersección de los conglomerados flotantes sobre la superficie que los soporta (agua por ejemplo) forma patrones geométricos caracterizados por uniones triples.

Las tangentes a los segmentos curvos que convergen en cada unión conforman ángulos de 120 grados. Cuando las burbujas son todas iguales, el patrón geométrico es una red hexagonal.

En el espacio, las burbujas dentro de un conglomerado generan uniones cuádruples que tienden a formar ángulos de 109° 28' 16". Cuando todas las burbujas son iguales y se encuentran apiladas en el espacio, se forman rombododecaedros.

El rombododecaedro, recíproco del cuboctaedro, es un poliedro semirregular caracterizado por facetas romboidales.

CAPÍTULO

6

Esfera, crecimiento, espiral y muerte

Esfera y latencia

La esfera es, por sus características geométricas, la forma idónea de protección. En efecto, es el cuerpo espacial que protege al máximo de volumen por unidad de superficie. Por su relación con la función protectora, es la forma que se asocia con el estado latente, el estado de espera.

EDGAR VARGAS

Toda vida empieza por una configuración esferoidal. El óvulo tiene una forma esferoidal y contiene un potencial de vida que es activado por el proceso de fecundación. Una vez iniciado éste, el óvulo fecundado mantiene durante varias de sus etapas de desarrollo una forma global tendiente a la esfera. El feto mismo tiende a una forma compacta hasta el momento en que está listo para salir de la matriz. Está protegido por una bolsa llena de líquido que tiene forma esférica.

FABRICIO VANDEN BROECK

Los huevos de aves y reptiles tienen una configuración similar: la yema, esférica, rodeada por la clara, líquido protector. Todo envuelto por una cáscara rígida de forma esferoidal.

En los vegetales, las semillas esferoidales están protegidas por la pulpa del fruto que las nu-

tre, y esta última, por la cáscara del fruto en una forma que tiende a minimizar la superficie externa.

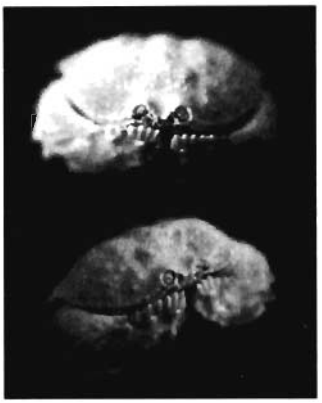
Sólo cuando las condiciones internas son compatibles con las externas, las semillas o los huevos animales dejan su forma esferoidal y adoptan otros patrones de desarrollo que los llevarán a su forma final.

Existen, en organismos ya desarrollados, reminiscencias del estado de latencia asociado a la esfera, que se manifiesta bajo ciertas circunstancias. Cuando tenemos frío, o nos queremos proteger de una agresión, nos enrollamos, adoptando la forma que minimice la superficie expuesta a los agentes del medio.

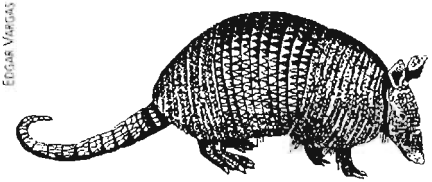
Algunos animales, como ciertos cangrejos o el armadillo–bola, están diseñados para, en momentos de peligro, replegarse en forma esferoidal, de modo que todos sus miembros embonen uno con otro de la manera más compacta posible. Las tortugas transportan consigo su "esfera" protectora.

PIERRE YVES TREMOIS

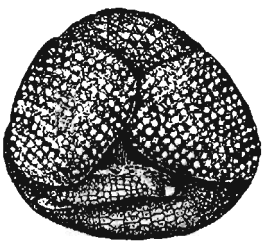
POR EL NACIMIENTO DE UN SUPERHOMBRE.



LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM



EDGAR VARGAS



EDGAR VARGAS

Ciertos vegetales que viven en medios extremadamente hostiles, guardan siempre una configuración esferoidal, como algunos cactáceos que minimizan así la superficie expuesta al proceso de evaporación, en las zonas áridas. Los nidos de pájaro tienden también a ser formas compactas de tendencia esferoidal. Cuando observamos varias semillas en un fruto, notamos que éstas se disponen de manera compacta, protegiéndose unas con otras, así como los cachorros de una misma camada se acomodan uno con el otro de manera que el conjunto minimice su superficie de exposición al medio.

Museum d'Histoire Naturelle, Ginebra

Espiral y desarrollo

La espiral es el patrón del crecimiento; sucede a la esfera en el proceso de desarrollo que llevará la forma, latente en la semilla, a su expresión final. En algunos vegetales, como ciertas cactáceas, la coliflor y el girasol, el crecimiento empieza con una unidad esférica generando, por división, una multiplicidad de unidades que, acumuladas, dan por resultado un incremento volumétrico de la forma. Las nuevas unidades se van acomodando en torno a las primeras con base en el patrón de la espiral.

C. Di Bartolo

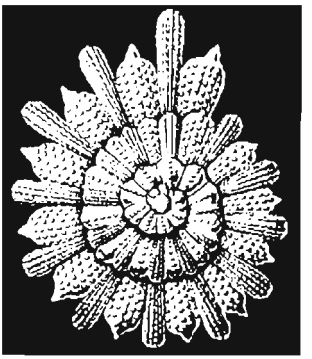
Cada pequeña unidad tiende a parecerse al conjunto, de modo que lleva en sí la imagen del todo (congruencia). En este caso, microcosmos y macrocosmos están relacionados por medio de la espiral, como hace notar C. Di Bartolo.

En la mayoría de las flores, las formas contenidas en los botones rompen su envolvente y comienzan un proceso de

"desenvolvimiento" a manera de los espanta–suegras. Existen múltiples variantes de este principio.

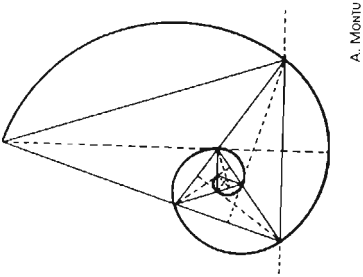
En los vegetales, el proceso de desenrollamiento es generado por la inyección progresiva de los fluidos vitales (recordemos que las plantas son sistemas hidráulicos). En ciertas plantas, como la mimosa sensitiva, el proceso de desenrollamiento es reversible, con fines de protección: cuando se le agrede táctilmente, las hojas se contraen como persianas o se enrollan en espiral, según el caso. La ausencia de luz solar activa este mecanismo y muchas plantas se enrollan de noche. El término desarrollo se deriva del término desenrollar e implica potencializar algo que está enrollado.

E. Haeckel



Foraminífero

Fabricio Vanden Broeck



A. Montu

Espiral Logarítmica.

FABRICIO VANDEN BROECK

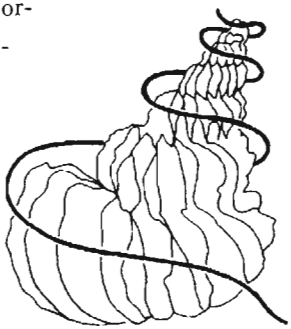
Estructuras verticales–helicoidales

La conformación de la mayoría de las estructuras verticales se relaciona con la helicoide, expresión vertical de la espiral.

En las plantas más desarrolladas, la disposición de las ramas y las hojas en torno al tronco sigue un patrón helicoidal que optimiza la ocupación del espacio, permitiendo que todas las hojas reciban luz solar.

Las primeras ramas que nacen quedan siempre abajo y son más largas,

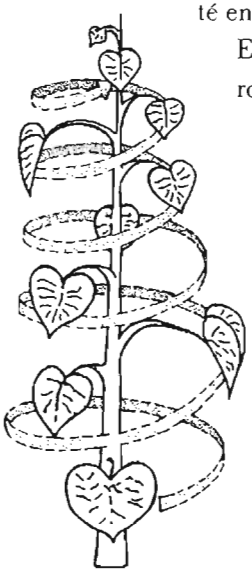
por haber tenido más tiempo para crecer. Conforme nace una nueva rama, ésta sigue un trayecto helicoidal ascendente en torno al tronco, según un periodo bien definido. Este periodo empieza con una rama y termina con otra más pequeña en la misma posición, pero más arriba en el tronco. El trayecto helicoidal permite alargar el periodo a manera de darle a la rama inicial el tiempo necesario para crecer lo suficiente y evitar así que la rama final interfiera en la recepción de luz solar.



Istituto Europeo di Design

Este tipo de organización es llamado filotaxia. Cada especie vegetal tiene su propia filotaxia, determinada por la relación entre el número de giros necesarios, siguiendo el patrón helicoide, para completar el periodo y el número de ramas encontradas y hasta llegar a la que esté en la misma posición que la inicial.

Istituto Europeo di Design



Ejemplo de filotaxia.

Estos dos números corresponden siempre a números de la serie de Fibonacci, serie matemática a la vez aritmética y geométrica, ligada a los fenómenos de crecimiento, en donde la suma de dos términos subsecuentes equivale al tercero y el cociente de la relación entre dos términos subsecuentes tiende a 0.618, la sección áurea.

La serie de Fibonacci es: 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, etc., en donde, para proseguir, sumamos los dos últimos términos.

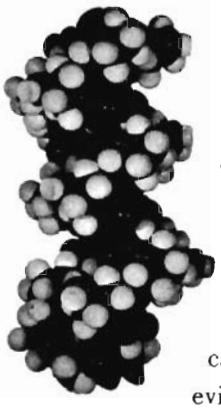
Encontramos esta serie en la división celular y en los fenómenos de crecimiento de una población.

El DNA se organiza con base en una doble helicoide y parece ser que ésta es la mejor forma

de proteger la información genética contra las radiaciones y las enzimas, a la vez que es una forma óptima de empaquetamiento.

Las moléculas de colágeno, proteína básica en las estructuras animales, se organizan en una triple espiral, prácticamente una trenza, lo cual sin duda influye en sus características mecánicas: elasticidad y resistencia a la tensión (aquí la analogía con los cables de acero trenzado es evidente).

COSEI, UAM-AZCAPOTZALCO



ESTRUCTURA DEL COLÁGENO.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

LA BROCA, AL GIRAR, PUEDE PENETRAR UN MATERIAL GRACIAS A QUE UN CANAL HELICOIDAL DA SALIDA CONTINUA AL MATERIAL DESBASTADO.

FABRICIO VANDEN BROECK

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

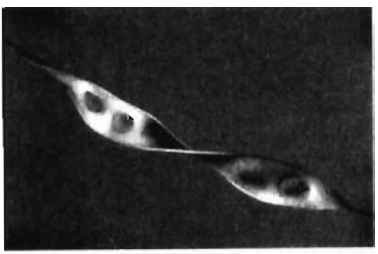
TALLO DEL PLÁTANO. LOS RACIMOS DE PLÁTANO SE ACOMODAN EN FORMA HELICOIDAL EN TORNO AL TALLO, ESTRUCTURA EN TENSIÓN DE DONDE CUELGAN ÉSTOS.

Muerte y espiral

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

Si la espiral y la helicoide son patrones que desencadenan el proceso de desarrollo, también son, hace notar C. Di Bartolo, los patrones que acompañan el proceso de la desactivación, de la muerte. Al iniciar este proceso, las hojas empiezan por retorcerse según un patrón espiral o helicoidal. Esto sucede porque, habiéndose inhibido la inyección de fluidos vitales, la hoja empieza a secarse y contraerse. Primero se secará en sus partes más delgadas, generando contracciones diferenciadas dentro del material, provocando la curvatura del plano.

Según Di Bartolo, se observa algo similar en el hombre: el desarrollo llega a su culminación con la verticalidad perfecta, partiendo de una forma semienrollada, el feto. En este caso la vejez se acompaña de un vencimiento de la verticalidad que tiende a curvar la estructura del hombre en forma espiral.



FABRICIO VANDEN BROECK

LA MUERTE, EN EL CASO DE ESTE SEMILLERO, ES TRANSICIÓN A OTRO CICLO VITAL, YA QUE LA TORSIÓN GENERADA POR EL PROCESO DE SECADO PERMITE LA EXPULSIÓN Y DISPERSIÓN DE LAS SEMILLAS.

FABRICIO VANDEN BROECK

CAPÍTULO

7

Patrones en la técnica

El proceso gradual y continuo de solución a los varios problemas a los que el hombre se ha visto confrontado desde que tiene conciencia, está sustentado por dos actividades complementarias fundamentales que subyacen en todo proceso creativo: la observación y la experimentación.

La observación, esencial para detectar necesidades y posibles soluciones, alimenta a la experimentación, que responde con propuestas que tendrán que ser a su vez evaluadas con base en un proceso de observación.

En suma, se trata de un proceso en donde estas dos actividades se alimentan recíprocamente.

Es también, por cierto, un proceso colectivo y de largo plazo, en el que las mejores soluciones reciben aportaciones y mejoras de todo tipo por parte de una colectividad que cambia con el tiempo y se confronta con otras colectividades: las soluciones, como las ideas, son entes dinámicos en perpetuo cambio inducido por contribuciones anónimas que le permiten subsistir en el tiempo y afinarse.

Ese perfeccionamiento gradual y colectivo tiende a simplificar el objeto, a reducirlo a su mínima expresión, acercándolo así a soluciones y formas que tienden a ser arquetípicas.

Y, como en la naturaleza, vemos en la técnica que, detrás de la aparente diversidad de formas funcionales, subyacen patrones que sustentan esta variedad, patrones que ofrecen la mejor solución a ciertos problemas que son recurrentes en la técnica.

Esfera

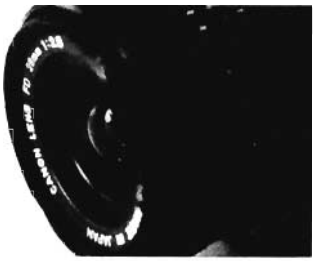
La esfera, lo hemos visto, es la forma que contiene el mayor volumen con la menor superficie. Esto la hace la solución idónea para contener, para proteger.

De ahí que la esfera y formas cercanas o derivadas de ésta prevalezcan en cascos, cisternas, paraguas y múltiples contenedores y botellas.

Pero la esfera tiene otras cualidades que la técnica ha sabido aprovechar, como el hecho que presente la menor superficie de contacto posible con un plano u otra esfera, un contacto puntual, ideal cuando se requiere que sea reducido (bolígrafo, aplicador *roll–on* para desodorante) o cuando se busca la menor fricción posible (rodamientos, baleros).

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

Las secciones de esfera y formas análogas, como las parábolas, concentran las ondas sonoras, luminosas, hertzianas y otras tantas de manera que es natural encontrar estas formas en instrumentos de óptica y antenas, particularmente las parabólicas.



LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

Espiral

La espiral permite el acomodo de un largo importante en un volumen reducido, de ahí que todo sistema de despachamiento gradual de alimentación continua esté basado en la espiral: mangueras, rollos de papel, etcétera.

El antiguo disco de acetato permitía almacenar cerca de una hora de música en un disco de 30 cm de diámetro, y esto gracias a la espiral.

La helicoide, versión vertical de la espiral, permite un desplazamiento continuo y graduable y por lo tanto permite administrar la energía necesaria para efectuar dicho trabajo.

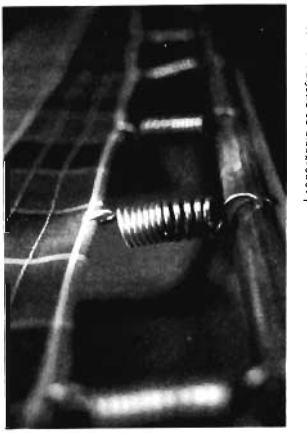
YUKITZUGU MINOHARA, UAM

YUKITZUGU MINOHARA, UAM

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

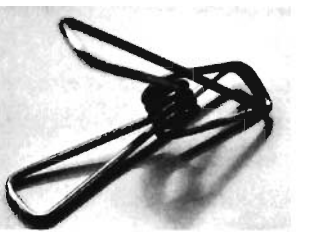
Este esquema es aprovechado en la escalera que conocemos como escalera en espiral.

En sus manifestaciones materiales, la espiral y el helicoide tienen, además, una propiedad mecánica intrínseca, la resilencia, que los hacen ideales, sobre todo el helicoide, para mecanismos que guarden energía de deformación elástica, como el resorte.



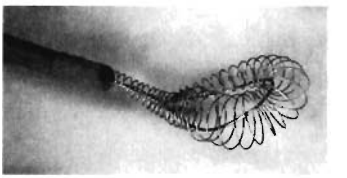
LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

YUKITZUGU MINOHARA, UAM



YUKITZUGU MINOHARA, UAM

YUKITZUGU MINOHARA, UAM



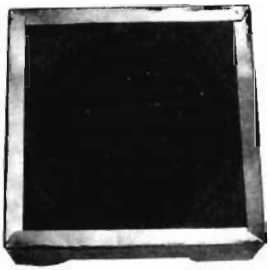
LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

Meandro

Como la espiral, el meandro permite compactar un recorrido en un área reducida y almacenar un elemento largo y delgado en un volumen compacto.

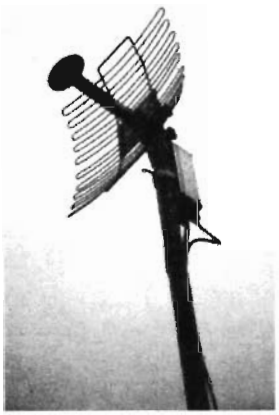
Las mangueras para incendio se encuentran generalmente guardadas según el esquema en meandro, lo que permite un desplegado rápido, con la ventaja adicional sobre la espiral de que se minimizan así los riesgos de atoramiento.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM



LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

El meandro permite extender un recorrido en un área limitada haciéndolo el patrón ideal para mecanismos de calefacción o enfriamiento con base en fluidos: radiadores, calentadores de aceite, refrigeradores, sistemas de pasteurización, etcétera.



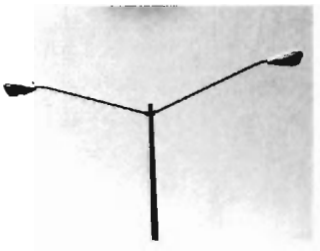
LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

Ramificación

En todo sistema que requiera de una organización con prioridades y jerarquías, el patrón de solución está basado en el principio de la ramificación.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

La distribución de recursos (luz, agua, etc.), los sistemas de recolección de basura, la red vial, la organización de una empresa, son todos sistemas jerárquicos organizados con base en la ramificación.


LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

Patrón radial o explosión

El patrón radial aparece cuando la solución está basada en la dispersión centrífuga y multidireccional a partir de un punto o cuando la prioridad es la centralización.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

LABORATORIO DE DISEÑO VII, UAM

LABORATORIO DE DISEÑO VII, UAM

Craquelamiento

Reconocemos en la técnica un patrón que nos recuerda los craquelamientos que observamos en la naturaleza y que sigue sus mismas reglas.

Por ejemplo, los asentamientos humanos se efectúan siempre gradualmente, es decir, siguiendo ciertas etapas, análogas a la formación de un esquema de craquelamiento: primero a los lados del camino que llevó a un grupo humano a un lugar determinado, camino que se vuelve el eje del desarrollo del asentamiento, la principal vía de acceso y abastecimiento, como lo son los ríos importantes en Europa (Rhin, Danubio, Sena, etcétera).

C. R. C. T., FRANCIA

LA ESTRUCTURA URBANA FUNCIONA COMO UN CRAQUELAMIENTO: LAS VÍAS SECUNDARIAS SUCEDEN A LAS PRIMARIAS Y NACEN DE ÉSTAS SEGÚN ÁNGULOS CERCANOS A 90°.

Con el tiempo y el crecimiento del asentamiento aparecen las primeras vías secundarias, perpendiculares a la vía principal, generalmente a 90° con respecto a ésta.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

Al crecer el asentamiento aparecerán posteriormente vías paralelas a la principal y así sucesivamente.

Al final se conformará un esquema jerarquizado con características muy cercanas a las de los craquelamientos en la naturaleza.

Otros ejemplos, menos cercanos quizá en cuanto a su origen, ya que el paso del tiempo no juega ningún papel en su definición, los constituyen los dibujos de las superficies antiderrapantes en llantas y suelas de zapatos.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

Acomodos compactos

El hombre ha tenido que enfrentar muy temprano en sus construcciones a la noción de módulo, es decir la unidad–base que permite, por apilamiento o yuxtaposición, la construcción de un conjunto de dimensiones mayores.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

El ejemplo más obvio de esto es el ladrillo, inventado por los sumerios, aún vigente hoy en día.

Problemas de almacenamiento y de administración de un espacio reducido encuentran solución en este esquema de organización.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

LABORATORIO DE DISEÑO VII, UAM

M. C. ESCHER

LABORATORIO DE DISEÑO VII, UAM

CAPÍTULO

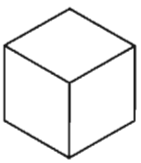
8

Efecto de escala

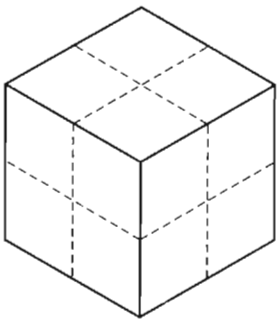
Forma, función y escala

El cambio de escala es un fenómeno que condiciona directamente el funcionamiento de cualquier organismo u objeto (así como su configuración). La forma refleja un equilibrio particular de funciones que se altera con el cambio de dimensiones.

Si tenemos dos cubos de diferente tamaño (uno de 1^3 y el otro de 2^3) tendremos, para cada uno de ellos, los siguientes datos dimensionales:



L=1
S=1(x6)
V=1



L'= 2
S'= 4 (x6)
V'= 8

Constatamos que con sólo duplicar la dimensión lineal de un cubo, la superficie se multiplica por cuatro y el volumen por ocho.

D'Arcy Thompson hace notar que, aunque los crecimientos lineal, superficial y volumétrico son parte de un mismo fenómeno, uno atrae más la atención que el otro: un pez, al doblar su largo, multiplica su peso por ocho, por lo menos, y basta con que aumente su tamaño de 10 a 12 cms para duplicar su peso.

Observamos esto en los contenedores de leche de cartón cuyas dimensiones lineales no cambian sensiblemente del empaque de un litro al de dos litros. Percibir visualmente un cambio de volumen es mucho más difícil que constatar un cambio lineal.

En la naturaleza, así como en la técnica, a cada uno de los componentes dimensionales de un objeto (dimensión lineal, superficie y volumen) vienen asociadas funciones diferentes. El peso, por ejemplo, es directamente proporcional al volumen. La resistencia mecánica lo es a la superficie; de ésta dependen también los intercambios energéticos con el medio. En consecuencia, un objeto que funciona adecuadamente a cierta escala se comportará diferentemente cuando sea transportado a otra, ya que se altera el precario equilibrio funciones/dimensiones.

FABRICIO VANDEN BROECK

CONTENEDORES DE 1.8 Y UN LITRO, RESPECTIVAMENTE.

Esto implica la necesidad de asociar, a un cambio de escala, cambios formales que restablezcan el equilibrio interfuncional original.

En todo objeto, la superficie S es proporcional a L^2 (siendo L la dimensión lineal). Asimismo, el volumen V es proporcional a L^3 . Por lo tanto, $S = k \cdot (L \times L)$ y $V = k' \cdot (L \times L \times L)$ en donde los factores k y k' son indicativos de la forma. Para el cubo, estos factores son las constantes: k=6 y k'=1.

Si la forma se mantiene tal cual, a pesar del cambio de escala, los factores k y k' son constantes y característicos de una forma específica, como es el caso del cubo.

En el mundo físico, factores como la fuerza de gravedad condicionan tanto la forma como el tamaño de un objeto. Por eso, en la naturaleza, los factores k y k' son variables; la forma se somete al equilibrio interdimensional y las constantes para cada "objeto" de la naturaleza son las relaciones S/V, L/S o L/V.

Estructura y escala

De dos estructuras similares, la más grande es la más débil debido a que, con el crecimiento, disminuye la superficie por unidad de volumen y, por lo tanto, la resistencia.

FABRICIO VANDEN BROECK

Galileo mostró que en una manzana que crece, el peso aumenta en relación a la superficie resistente (la sección del tallo del fruto) y que, debido a la progresión de la relación V/S, la manzana termina por caer, al romperse el tallo.

Esto explica una serie de cosas:

• La forma de los frutos pequeños tiende a la esfera, cumpliendo así con la función de proteger las semillas.

• Los frutos grandes, a pesar de tener los mismos requerimientos funcionales, asumen una forma alargada, generalmente de gota, que corresponde a la óptima repartición de las cargas generadas por el sensible aumento de peso en relación a la superficie de contención.

• Los frutos grandes y pesados crecen, en general, a nivel del suelo, como es el caso de las calabazas y de los melones que representarían demasiado peso para las ramas.

Existen excepciones como la papaya y el coco, pero entonces estos frutos crecen agrupándose alrededor del tronco.

FABRICIO VANDEN BROECK

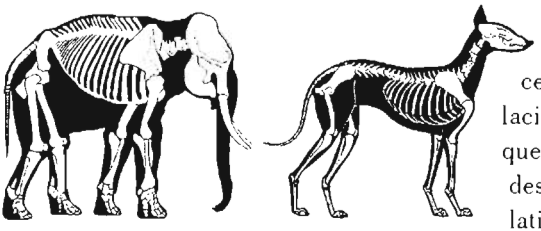
PAPAYA.

FABRICIO VANDEN BROECK

LA JACA ES UN FRUTO DEL BRASIL QUE LLEGA A MEDIR 45 CMS DE LARGO Y A PESAR 10 KG. SU TALLO ES CORTO Y TRABAJA A TENSIÓN, YA QUE EL FRUTO PENDE DEL TRONCO.

En las estructuras óseas de dos cuadrúpedos estructuralmente similares pero de diferente tamaño, se observan, en el más grande, huesos proporcionalmente más anchos, solución que adopta la naturaleza para compensar el exceso de peso general en relación a la resistencia del esqueleto. Los animales grandes tienen extremidades relativamente cortas y gruesas (patas y cuello). Los árboles son susceptibles a momentos de flexión y Euler demostró que el diámetro de una columna debe aumentar con la potencia 3/2 de la altura. Esto explica el perfil logarítmico de los grandes árboles como el roble, mismo que constatamos en la torre Eiffel.

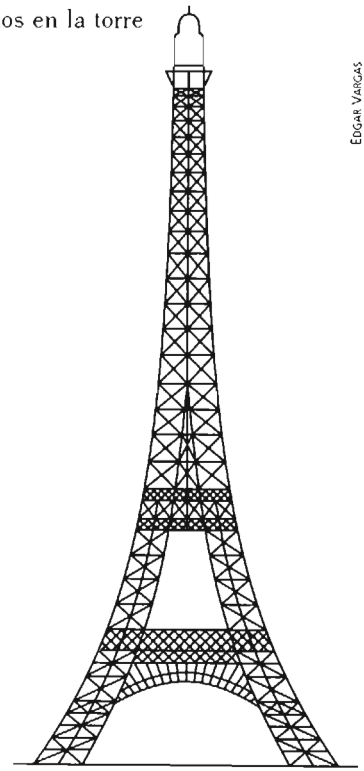
Edgar Vargas



Fabricio Vanden Broeck

Ceibas.

Fabricio Vanden Broeck

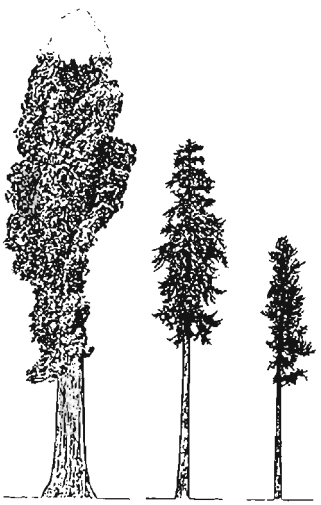


Edgar Vargas

SCIENTIFIC AMERICAN

ESTRUCTURA INTERNA DE UN HUESO DE ZOPILOTE, EN CORTE LONGITUDINAL. LA SOLUCIÓN RETICULADA EXPRESA LA NECESIDAD SIMULTÁNEA DE LIGEREZA Y RESISTENCIA. EL TAMAÑO IMPONE A LA TORRE EIFFEL EL MISMO TIPO DE SOLUCIÓN.

A medida que las estructuras crecen en tamaño disminuye su resistencia relativa. Si en las estructuras pequeñas la amenaza es externa (cargas vivas), en las estructuras grandes el peligro viene de dentro, de la carga muerta. Los antiguos romanos, según J. E. Gordon, apilaban jarrones de barro dentro de los muros de sus construcciones, disminuyendo así sensiblemente las cargas muertas. Esta solución es precursora de las estructuras celulares (sandwich) en las construcciones modernas.



SCIENTIFIC AMERICAN

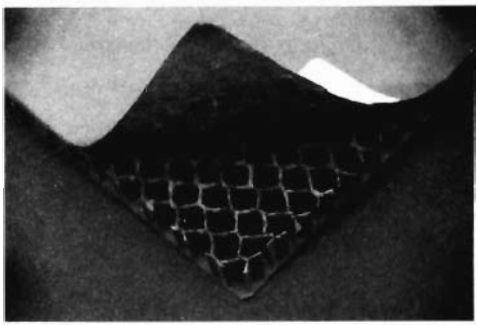
ÁRBOLES GRANDES, UNA SEQUOIA, UN PINO DOUGLAS Y UN PINO PONDEROSA, EVIDENCIAN CÓMO EL DIÁMETRO DEL TRONCO DE UN ÁRBOL AUMENTA CON SU ALTURA.

A pesar de que, de dos estructuras similares, la más grande es la más frágil, existen excepciones. En las estructuras a presión como contenedores, velarias, venas y arterias, el papel del volumen y, por lo tanto, del peso, tiende a ser despreciable en relación a los demás parámetros (esto es válido mientras el espesor de la membrana sea inferior a 1/10 del diámetro). En este tipo de estructuras, la tensión sobre la membrana del contenedor, generada por la presión interna del fluido, está dada por la siguiente relación:

$$T = \frac{r \cdot p}{d}$$

r: radio de curvatura de la membrana.
p: presión (proporcional al cuadrado de la velocidad).
d: espesor de la membrana.

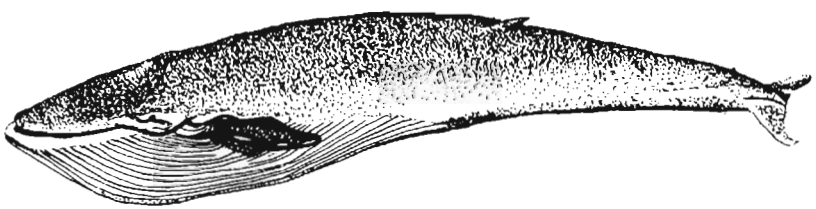
De este análisis cabe destacar las ventajas de las tendoestructuras (con base en membranas) con respecto a las tradicionales estructuras arquitectónicas a compresión que utilizan materiales pesados. Las ventajas crecen con el tamaño, ya que una estructura primero debe soportar su propio peso para poder resistir cargas.



FABRICIO VANDEN BROECK

SANDWICH DE CARTONCILLO.

En el agua, los animales marinos son soportados por un líquido, y su peso entonces es contrarrestado por la masa de agua desplazada por su volumen. Si además, la densidad promedio del animal (materia orgánica y aire promediados) es igual a la del agua (lo cual parece ser el caso de la ballena), entonces la gravedad no tiene influencia sobre éste. De hecho, en el mar encontramos animales mucho más grandes de los que se pueden encontrar en tierra firme. Pero si alguno de éstos llegara a encallar, por accidente, en una playa, moriría sofocado por su propio peso, como sucede con las ballenas.



EDGAR VARGAS

Un atleta de dos metros de altura y 120 kg de peso es más frágil que un niño de un metro de altura. En este caso, el niño es lo doble de resistente que el atleta, ya que la relación superficie/peso en éste es desventajosa; de hecho, los niños pueden caer de alturas sin sufrir daños graves, mientras que un enorme jugador de futbol americano puede romperse una pierna con sólo caer de su propia altura (en el niño ayudan también los tejidos óseos aún no calcificados, que son más flexibles y resistentes).

El caparazón hueco de los insectos y crustáceos es una eficaz protección hasta llegar a cierto tamaño. Para animales de mayores dimensiones representaría un estorbo, un peso excesivo que comprometería su locomoción. Un insecto de un metro de largo resulta inconcebible, ya que el peso de su caparazón lo inmovilizaría.

Edgar Vargas

La escala impone cambios al mismo tipo de solución estructural en las conchas de dos tipos de moluscos: en el ejemplo de la derecha que corresponde a Tridacna, especie de 1.20 m de ancho, el corrugado se basa en menos elementos y evita, con curvas más suaves, toda posibilidad de concentración de esfuerzos.

En el elefante se manifiesta el tamaño máximo que un animal puede alcanzar sobre la tierra firme y es de notar que, a partir de un cierto tamaño, la naturaleza desecha el caparazón externo y opta por una estructura interna, el endoesqueleto, reduciendo así la cantidad de material estructural rígido, y por lo tanto el peso.

Tamaño e intercambios con el medio

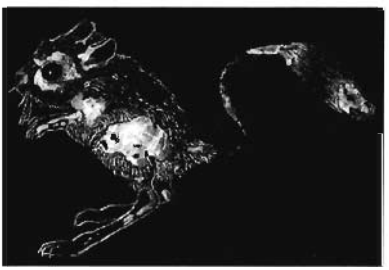
Todo intercambio con el medio, a saber: alimentación, respiración, eliminación y disipación de calor, es función directa de la superficie.

En los animales de sangre caliente, es decir, de temperatura constante, la producción de calor es proporcional a la masa y compensa la pérdida por irradiación, proporcional a la superficie. La relación pérdida/producción proporcional a S/V, aumenta inversamente al tamaño.

El animal pequeño produce más calor (por unidad de masa y en relación al tiempo) que el grande, compensando así la mayor pérdida de calor debida a su mayor superficie por unidad de volumen. Para esto, debe comer con mayor frecuencia ya que tiene una masa menor, y esto, a su vez, implica un mayor gasto de energía de trabajo (la musaraña enana come al día dos veces su peso).

En otros términos, el animal pequeño tiene un metabolismo relativamente alto que condiciona su existencia; se consume más rápidamente, invierte gran parte de su tiempo en buscar alimento y comer. Un animal de sangre caliente más pequeño que la musaraña no puede existir, ya que la pérdida de calor superaría su capacidad de producción de energía. En los insectos, el exoesqueleto es impermeable y sellado para reducir al mínimo la pérdida energética por irradiación.

El intestino del hombre forma un tubo largo compactado sobre sí mismo en forma de meandro, ofreciendo



ELIZABETH BURGOS

EL JERGO DE EGIPTO ES UNO DE LOS MAMÍFEROS MÁS PEQUEÑOS. DE CLIMA CÁLIDO, ES DE NOTAR QUE SU FORMA, TENDIENTE A LA ESFERA, MINIMIZA LAS PÉRDIDAS ENERGÉTICAS POR IRRADIACIÓN. NO PODRÍAMOS ENCONTRAR UN MAMÍFERO DE ESTE TAMAÑO EN REGIONES FRÍAS.

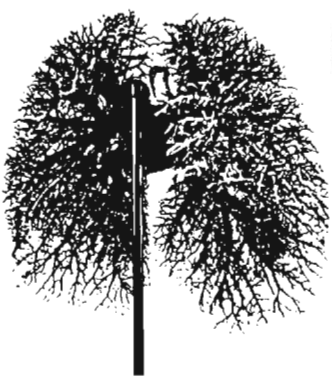
COSEI, UAM-AZCAPOTZALCO

MICRO VELLOSIDADES INTESTINALES.

un máximo de superficie de intercambio, contenida en un volumen mínimo. Además, la superficie es incrementada significativamente por las vellosidades intestinales.

Los pulmones tienen un mecanismo similar que maximiza la superficie de intercambio por medio de involuciones complejas.

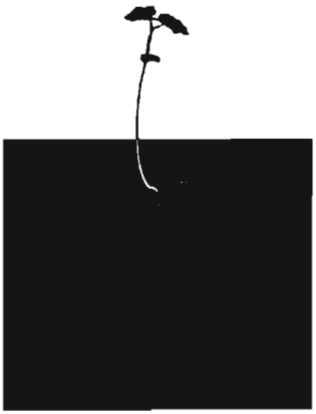
El principio de intercambio es el mismo en toda la naturaleza; cambia tan sólo la solución específica, ligada al tamaño y a la complejidad del organismo. En el árbol, el "intestino" está constituido por el sistema de raíces y pelos radiculares organizados con base en la ramificación.



COSEI, UAM-AZCAPOTZALCO

PULMÓN, RAMIFICACIONES VASCULARES.

Según Stevens, las raíces de una planta de centeno alínean un promedio de 600 km y contando los pelos radiculares se llegaría a 11 000 km lineales. En el mismo orden de ideas, los "pulmones" del árbol están constituidos por el conjunto de hojas que presenta una superficie de intercambio enorme.



COSEI, UAM-AZCAPOTZALCO

COSEI, UAM-AZCAPOTZALCO

Tanto los radiadores de los automóviles como los disipadores de calor, en los aparatos electrónicos, son dispositivos que maximizan la superficie ex-

puesta al medio, para acelerar la irradiación del calor y enfriar, uno el agua y el otro los componentes electrónicos; la maximización de la superficie se logra por medio de un patrón en meandro o ramificado. El mismo esquema conforma a las pasteurizadoras industriales, en donde el proceso requiere bajar bruscamente la temperatura de la leche de 100° a 40° C.

La capacidad de absorción de una toalla es debida a la enorme superficie que ofrecen los múltiples hilos en forma de ojal que sobresalen de la trama.

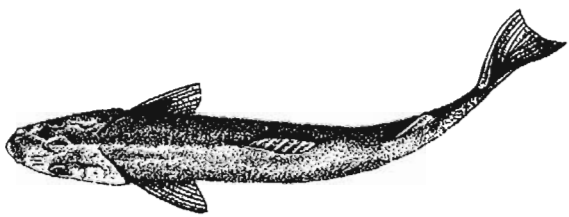
Locomoción y tamaño

Según Spencer, citado por D'Arcy Thompson, de dos peces similares de tamaño diferente, el pez grande tiene ventajas para desplazarse con respecto al chico, ya que la energía disponible para la locomoción es proporcional a su masa mientras que la fricción (resistencia al avance) es proporcional a la superficie.

$W \approx R \cdot V^2$ en donde W es el trabajo, R es la resistencia y V la velocidad.

$V^2 \approx W/R \longleftrightarrow V^2 = L^3/L^2\ V$ = raíz L. $V^2 \approx W/R \longrightarrow V^2 \approx L^2/L^2 V \longrightarrow \sqrt{L}$

Un pez grande tenderá a desplazarse más rápidamente, a *caeteris paribus*, que uno chico, pero sólo en proporción a la raíz cuadrada de su largo.



Edgar Vargas, Scientific American

Cabe sólo observar que, si bien el trabajo W es proporcional al volumen (en un motor depende del área del pistón y de su longitud; en un animal, de la sección del músculo y de su largo), la potencia instantánea disponible

varía con la superficie de oxidación (en los animales los pulmones y en una máquina la superficie de la caldera o el carburador).

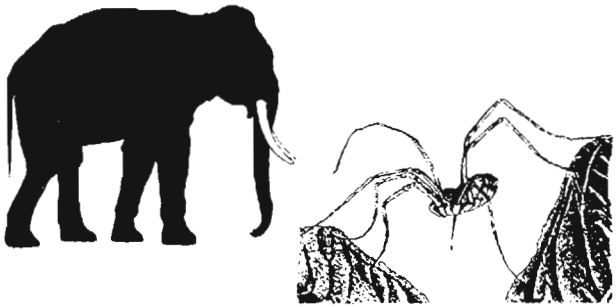
El pez grande será más veloz en la medida en que presente una superficie pulmonar *ad hoc*. Los barcos petroleros tienden a adoptar proporciones gigantescas (*supertankers*), minimizando la superficie de fricción por unidad de volumen transportado, reduciendo así, significativamente, el consumo de combustible de transporte.

Funciones y tamaño

Desde un punto de vista estrictamente funcional, no existen diferencias entre una amiba y un elefante. Los dos organismos cumplen con las mismas grandes funciones: alimentación e intercambios metabólicos, reproducción y desarrollo, locomoción, eliminación de residuos del metabolismo, protección, coordinación y comunicación. Lo hacen según los mismos principios, pero las soluciones específicas cambian porque cambia el tamaño. La amiba presenta una forma adecuada a su escala, que le permite optimizar la relación superficie/volumen en términos de intercambios con el medio y de estructura.

Protección e intercambios son asegurados por la membrana externa. Al crecer la amiba, como de hecho cualquier célula, se altera el equilibrio superficie–volumen. La membrana no basta ya para asegurar el metabolismo del animal y la masa es demasiado grande para ser mantenida en cohesión. La amiba crece hasta un cierto límite y luego se divide, restableciendo el equilibrio interfuncional original.

A medida que la naturaleza produce organismos más grandes, la solución "amiba" sufre cambios: la membrana presenta diferenciaciones localizadas, rigidizaciones, e inclusive las áreas de contacto con el exterior se calcifican para cumplir con los requerimientos estructurales, mientras que en ciertas zonas permanece elástica y se expande por medio de involuciones internas complejas para satisfacer las necesidades en alimentación o en respiración: de manera paulatina aparece una diferenciación funcional que culminará con la aparición de órganos especializados.



EDGAR VARGAS

LAS PATAS DEL ELEFANTE TIENEN UNA FUNCIÓN DISTINTA DE LAS DE LA ARAÑA. EN EL PRIMERO SOPORTAN EL PESO, EN LA ARAÑA MAXIMIZAN LOS PUNTOS DE ANCLAJE AL MEDIO.

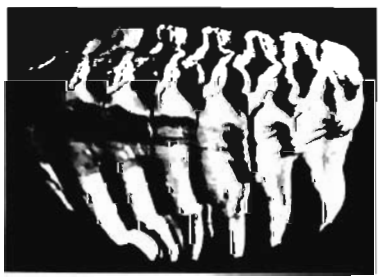
Los caparazones (de crustáceos e insectos) son variantes articuladas de la "membrana original".

Con la aparición de formas más grandes surgen necesarios cambios cualitativos: la introducción de un endoesqueleto rígido que, combinado con una membrana externa elástica, la piel, asegura protección con estructura de peso notablemente reducido.

Con la creciente diferenciación los mecanismos se complican y se especializan, pero los problemas se resuelven siempre con base en el mismo principio original. Con la complejidad surge la necesidad de un sistema nervioso central que coordine todos los subsistemas, mismo que, a partir de un cierto tamaño, requerirá para su óptimo funcionamiento de una temperatura constante, apareciendo entonces los animales homeotérmicos.

No podríamos concebir una amiba del tamaño de un elefante o viceversa, y esto simplemente por razones funcionales.

Sencillez no es sinónimo de primitivismo, así como complejidad no equivale a optimidad. En este sentido, es importante recordar que la naturaleza tiende a resolver sus problemas con las soluciones más económicas y sencillas.



COSEI, UAM-AZCAPOTZALCO

MOLAR DE ELEFANTE. AL AUMENTAR EL VOLUMEN DEL PASTO POR MASTICAR CON EL AUMENTO DEL TAMAÑO DEL ANIMAL, TIENE QUE AUMENTAR SELECTIVAMENTE LA SUPERFICIE DE TRITURACIÓN.

La complejidad aumenta en proporción a la masa y, en proporción a ésta, decrece la capacidad de adaptación al cambio, condición *sine qua non* de supervivencia. El mecanismo de división celular no es más primitivo que la reproducción sexual, es simplemente menos complejo y, de hecho, los dos mecanismos tienen lugar simultaneamente en los organismos superiores.

CAPÍTULO

9

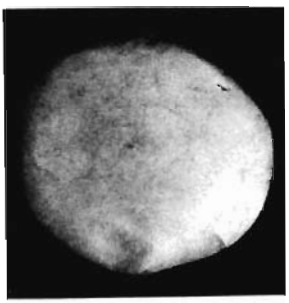
Superficies estructuradas

Curvatura

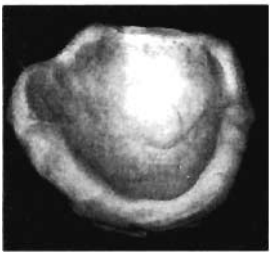
Uno de los patrones formativos más importantes en la naturaleza es el de la curvatura. Como hace notar P. Stevens, aparece en muchos lados: en el lóbulo de la oreja, en las hojas de un árbol, en las conchas marinas y en los cuernos de las cabras. P. Stevens explica que, aun cuando son complejas y sofisticadas, todas esas formas derivan de un principio constructivo elemental: el de la curvatura.

MIGUEL PÉREZ

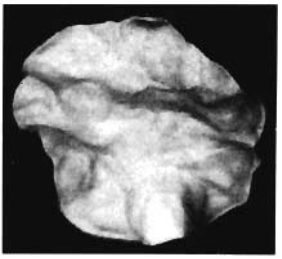
Si formamos un disco de espesor constante con plastilina, éste definirá un plano. Si comenzamos a modelar el centro del disco aplastándolo a manera de disminuir su espesor con respecto al resto del disco, obtendremos una forma curva, una forma que Stevens llama de "copa". Esta forma es el resultado de un crecimiento diferenciado del material: creció más rápidamente el centro que el perímetro. Si, a la inversa, hacemos crecer más rápidamente el perímetro que el centro partiendo del disco plano original, obtendremos una forma de tipo "silla de montar" caracterizada por un perímetro senoidal, conformando una superficie en contracurvas.



FABRICIO VANDEN BROECK



FABRICIO VANDEN BROECK



FABRICIO VANDEN BROECK

FABRICIO VANDEN BROECK

Para demostrar que este principio es universal e independiente del material, Stevens utiliza seis triángulos equiláteros que, compactados, constituyen un hexágono. El hexágono define un plano.

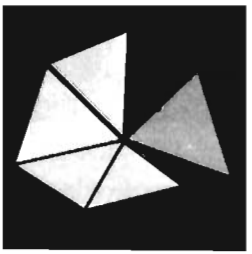
Si se elimina un triángulo, uniéndose los cinco restantes por los catetos, la forma resultante se levantará del plano formando una "copa".

Al retirar un triángulo, habremos contraído más el perímetro que el centro, debido a la configuración del triángulo, que termina en punta en el centro del conjunto.

Si, por otro lado, agregamos un triángulo a los seis iniciales, el perímetro habrá crecido más rápidamente que el centro produciendo una forma en "silla de montar".

Del principio de curvatura se desprenden todas las tipologías de superficies.

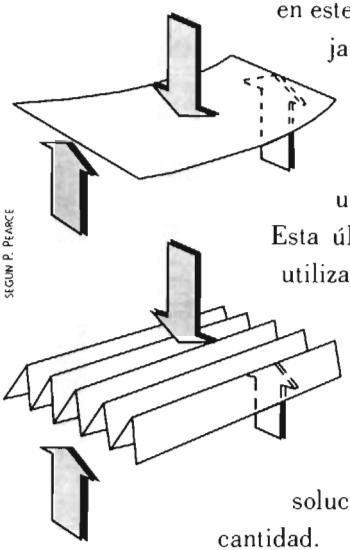
FABRICIO VANDEN BROECK



La curvatura del espacio

Una hoja de papel no tiene consistencia por sí sola para soportar su propio peso en voladizo. La hoja se flexiona y se abate cuando es sostenida por un extremo.

Existen dos principios distintos para estructurarla y permitirle soportar un peso. Una solución es cuantitativa: se aumenta la cantidad de material; en este caso es incrementado el espesor de la hoja. La otra solución es cualitativa: se estructura la hoja por medio de un cambio de forma, ya sea confiriéndole una curvatura o efectuando un doblez.



FABRICIO VANDEN BROECK
SEGÚN P. PEARCE

Esta última tipología de solución utiliza inteligente y económicamente el material, estructurándolo por medio de la forma y de su herramienta, la geometría, mientras que la primera solución sustituye calidad por cantidad.

M. Salvatori explica que, al cambiar la forma de la hoja de papel, se reparte mejor el material alejándolo del eje neutro donde no es necesario, incrementando así su momento de inercia. Según el autor, una hoja doblada en V equivale a una viga cuya altura es igual a la del triángulo formado por la V y cuyo ancho equivale a la suma de la proyección horizontal de los espesores de las dos caras de la V.

Al doblar el papel ya no es su espesor el que resiste a la flexión sino el espesor de la forma obtenida con éste. Ya no es el material el que traba-

FABRICIO VANDEN BROECK

ESTA VAINA DE 45 CM DE LA FAMILIA DEL EJOTE ACUSA UNA ESTRUCTURACIÓN DE SUPERFICIE MUY ACENTUADA CON BASE EN CORRUGADOS. EL TAMAÑO Y EL PESO IMPONEN ESTA SOLUCIÓN.

ja, sino la estructura hecha con el material. El concepto detrás de las superficies estructuradas es la resistencia por la forma.

Las superficies estructuradas se dividen básicamente en dos grupos: superficies continuas y superficies con rigidizaciones localizadas.

Superficies continuas

Son superficies donde no hay accidentes o cambios bruscos de forma. La continuidad es una ventaja estructural ya que permite la fluidez de los esfuerzos, evitando su concentración en sectores particularizados de la superficie.

Las superficies estructuradas continuas son generadas por la curvatura del plano.

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

SILLA DE UNA PIEZA EN FIBRA DE VIDRIO. ÉSTA APROVECHA LA MOLDEABILIDAD DEL MATERIAL Y PROPONE UNA ESTRUCTURA MUY RESISTENTE CON BASE EN DOBLES CURVATURAS. DISEÑO: PALLE SEIERSEN.

Superficies de curvatura simple

Son superficies desarrollables: surgen del plano y por lo tanto pueden regresar a él, como el cilindro, el cono y sus secciones. Estas superficies abiertas, por definición, ofrecen sus mejores características estructurales cuando son cerradas paralelamente al plano de la curvatura, ya que tanto las versiones abiertas como los ondulados requieren de un sistema complementario que les permita mantener su forma, evitando que se aplanen cuando son sometidos a carga.

Aun cerradas, estas figuras son menos eficaces que las que están formadas por dos curvaturas, ya que, como son generadas por una recta en rotación, ésta puede, bajo esfuerzo, convertirse en bisagra y provocar colapso

de la estructura si la membrana fuera muy delgada.

La naturaleza evita este tipo de estructuras y aun en aquellas largas y aparentemente cilíndricas, utiliza estratagemas para evadir la presencia de rectas. Los huesos, por ejemplo, no tienen una sección continua, de suerte que el perfil no es nunca una recta, y es común encontrar huesos de sección intermedia entre el círculo y el triángulo en donde la sección de un extremo está desfasada con relación a la del extremo opuesto.

FABRICIO VANDEN BROECK

IGLESIA DE PAMPULHA, BELO HORIZONTE, BRASIL. EL TECHO ESTÁ ESTRUCTURADO CON BASE EN CURVATURAS SIMPLES.

EDGAR VARGAS

Superficies no desarrollables

Estas superficies se caracterizan por dos curvaturas.

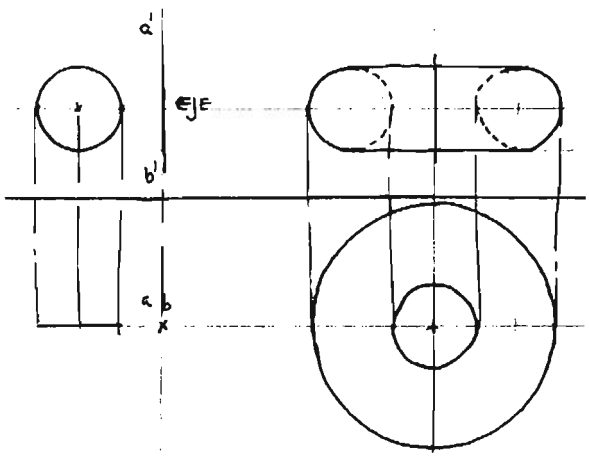
Son, evidentemente, más estables, más resistentes que las superficies desarrollables, ya que, como no surgen del plano, no tienden a aplanarse.

Dentro de esta categoría se incluyen algunas superficies de revolución como la esfera o sus secciones generadas por una forma rotando alrededor de un eje. De la misma manera se obtienen superficies de revolución parabólicas y elípticas.

Así como la esfera, toda superficie de revolución es descrita mediante dos componentes constructivos: los meridianos (secciones verticales radiales) y los paralelos (secciones horizontales paralelas).

Las superficies esferoidales completas constituyen óptimos contenedores. De hecho, en la técnica, se utilizan con frecuencia esferas completas como contenedores de productos químicos, aunque cada vez más se tiende a diseñarlos en forma de gota de agua: ésta adopta la forma adecuada en función de una óptima repartición de tensiones que contrarresta la atracción de la gravedad.

Otro tipo de superficies con doble curvatura son los toros, que M. Salvatori llama superficies de traslación. En este caso se trata de una sección circular, elíptica o parabólica, sometida a traslación circular en torno a un eje.



PABLO RAEDER

TORO.

La traslación de una parábola sobre un trayecto parabólico produce un paraboloide elíptico, cuyas secciones horizontales forman elipses. Si las dos parábolas son idénticas, entonces la superficie cubre un área cuadrada y sus secciones horizontales se vuelven círculos. Según Salvatori, ésta fue una de las primeras formas usadas en la construcción de coberturas ligeras.

La famosa hiperboloide parabólica resulta de la traslación de una parábola sobre otra, pero en sentido opuesto. Las secciones horizontales de esta superficie definen las dos ramas de la hipérbola que le confieren su nombre. La hiperboloide parabólica es un caso particular de las superficies en

forma de "silla de montar", que son generadas por cualquier tipo de curvas opuestas (círculos, elipses, etc.). Esta superficie y sus variantes son muy comunes en la naturaleza. El semillero de la jacaranda, por ejemplo, es una estructura muy resistente con base en las contracurvas (curvas opuestas) producidas por la forma "silla de montar" y sus complejas variantes.

La hiperboloide parabólica tiene una ventaja de construcción sobre cualquier superficie en forma de "silla de montar", y es que puede ser construida por medio de dos sistemas de rectas. Por esta razón, esta superficie forma parte de las llamadas regladas, aquellas que pueden ser descritas por medio de sistemas de rectas; que son generadas por el deslizamiento de los dos extremos de una recta sobre dos curvas separadas. En el caso de la paraboloide hiperbólica, las dos curvas son rectas.

FABRICIO VANDEN BROECK

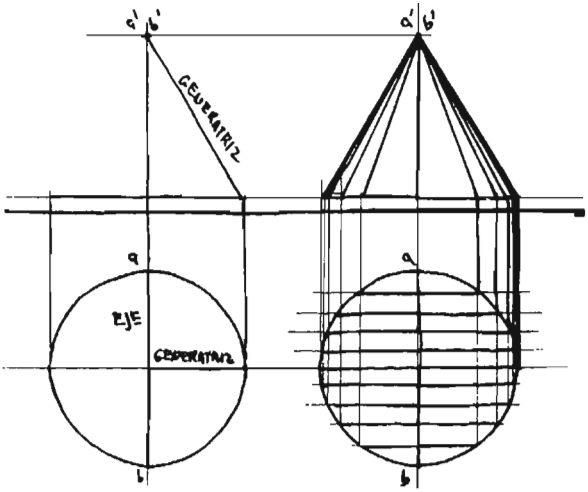
SEMILLERO DE JACARANDA.

Superficies regladas

Esta categoría incluye a las superficies conoidales, generadas por el deslizamiento de una recta cuyos extremos se apoyan sobre dos curvas diferentes. El cilindro es un caso particular de este tipo de superficies.

Las superficies conoidales tienen las mismas desventajas que el cilindro: necesitan de marcos o sistemas complementarios que les permitan mantener su forma cuando son sometidas a esfuerzos, evitando que se abran o se colapsen.

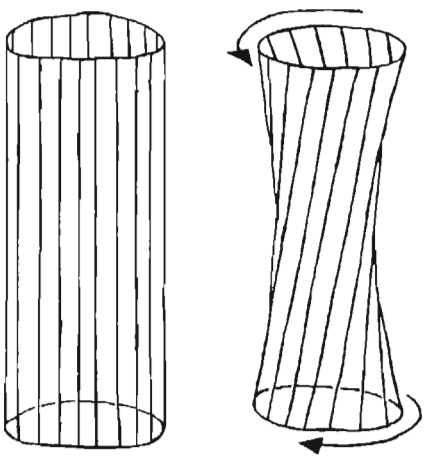
Los conoides, formados por el deslizamiento de una recta cuyos extremos se apoyan, uno sobre una curva, el otro sobre una recta, son cualitativamente diferentes de las superficies conoidales, ya que describen otras curvas.



PABLO RAEDER

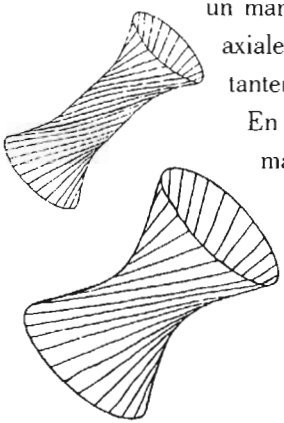
Existen diferentes conoides según sea un círculo, una elipse o una parábola lo que los genere, pero tienen las mismas características. Según Salvatori, estas superficies forman excelentes cubiertas en voladizo, cuando están sujetadas por el extremo curvo.

Una recta inclinada deslizándose sobre dos círculos paralelos describe una superficie llamada hiperboloide de un manto. El perfil de esta estructura muestra las dos ramas de la hiperboloide. Se puede lograr esta estructura por torsión, a partir del cilindro. Esta forma aparece frecuentemente en la naturaleza, por ejemplo, en las estructuras largas como los huesos. Según C. Bombardelli, las trabéculas óseas (los segmentos del tejido esponjoso óseo) tienen forma de hiperboloide de



CARLO BOMBARDELLI, I. E. D.

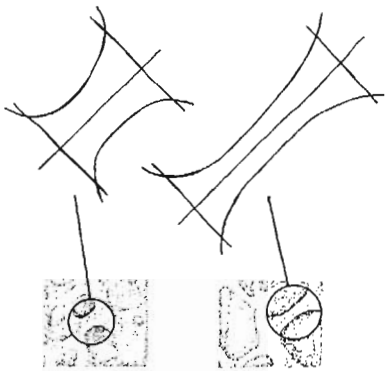
CARLO BOMBARDELLI, I. E. D.



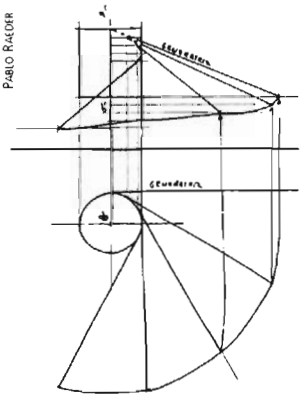
un manto, forma particularmente resistente a esfuerzos axiales. Según el autor, las trabéculas soportan constantemente compresión axial.

En el campo de la técnica, las hiperboloides de un manto son extensamente usadas en la construcción de torres de enfriamiento. Las estructuras regladas, fácilmente construibles por medio de segmentos rectos, son privilegiadas por la arquitectura y la ingeniería civil.

CARLO BOMBARDELLI, I. E. D.



PABLO RAEDER



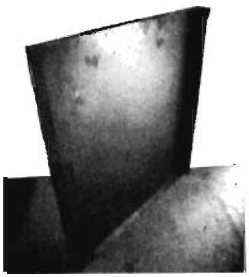
CONVOLUTA HELICOIDAL.

DIAPOTILM

ESTADIO OLÍMPICO DE TOKIO, OBRA DE KENZO TANGE.

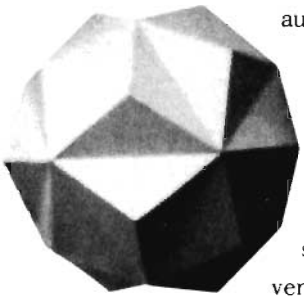
Superficies con rigidizaciones localizadas

Estas superficies se caracterizan por ser discontinuas. Son, en principio, menos eficientes que las superficies continuas debido a que las rigidizaciones localizadas constituyen focos potenciales de concentración de esfuerzos. Sin embargo, los procesos de fabricación no siempre permiten la construcción de una superficie continua, sobre todo tratándose de estructuras con lámina metálica.



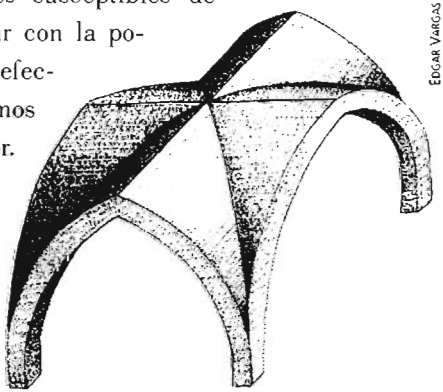
FABRICIO VANDEN BROECK

La estructuración simple de una lámina de metal se logra ya sea por el doblez de los bordes, lo cual forma un marco que aumenta el "espesor" estructural de la lámina, o por medio de nervaduras en forma de canal que, aparte de aumentar sensiblemente el espesor útil del material, dividen la superficie en sectores.



LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

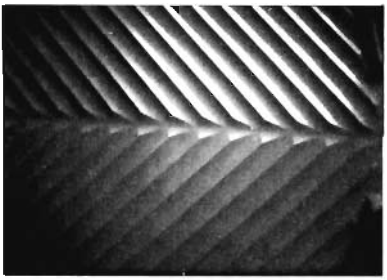
La sectorización, cuando no afecta la cohesión o continuidad en el material, tiene una ventaja estructural: permite la división del problema en subproblemas, disminuyendo así los esfuerzos, sobre todo, en las superficies susceptibles de flexión cuyo espesor debe aumentar con la potencia 3/2 (1,5) del largo, debido al efecto de escala. Al sectorizar, reducimos la necesidad de aumentar el espesor. La superficie trabaja ya no como una sola superficie grande, sino como una serie compacta de pequeñas superficies. El aspecto crítico del problema se centra entonces en la continuidad o cohesión entre pequeñas superficies.



EDGAR VARGAS

SECTORIZACIÓN Y CORRUGADO.

Existen dos grupos cualitativamente distintos de rigidizaciones localizadas: en torno a una línea y en torno a un punto. En las rigidizaciones en torno a una línea, las rectas deberían ser evitadas por constituir potenciales bisagras o ejes de abatimiento, que facilitan el cedimiento de una superficie bajo carga.



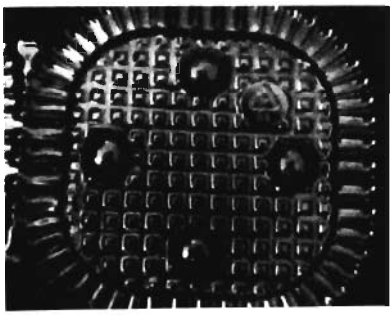
LABORATORIO DE DISEÑO VII, UAM

PLÁSTICO ESTRUCTURADO EN TORNO A LÍNEAS.

La naturaleza utiliza de manera extensiva la estructuración localizada en torno a puntos. Este principio satisface la sectorización y tiene la ventaja, con respecto a la rigidización en torno a una línea, de ser más económica y menos discontinua. La cáscara de la castaña se estructura con base en este principio combinado con la forma global del fruto que tiende a la esfera. Frei Otto retoma este principio y, combinándolo con las contracurvas, genera la cubierta del Pabellón alemán de la Expo 67 de Montreal.

FABRICIO VANDEN BROECK

LA CÁSCARA DE LA CASTAÑA ESTÁ ESTRUCTURADA POR ESPINAS.



LABORATORIO DE DISEÑO VII, UAM

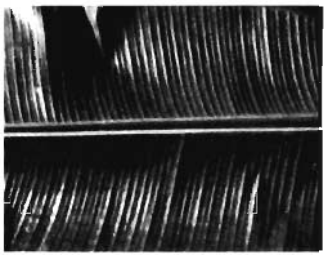
ENVASE DE PLÁSTICO ESTRUCTURADO CON BASE EN PUNTOS.

Placas estructuradas

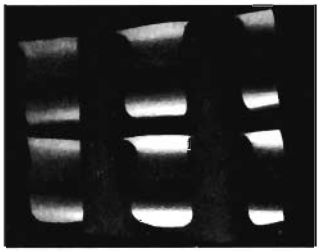
En el caso de las placas estructuradas, la superficie es estructurada mediante un sistema auxiliar de nervaduras. Desde un punto de vista conceptual, no se trata ya de una superficie estructurada, puesto que intervienen dos sistemas diferentes: el espesor toma una importancia particular.

Las hojas de un árbol ofrecen un buen ejemplo de este principio: la superficie se sustenta en una red jerarquizada de nervaduras.

FABRICIO VANDEN BROECK



HOJA DE PLÁTANO.

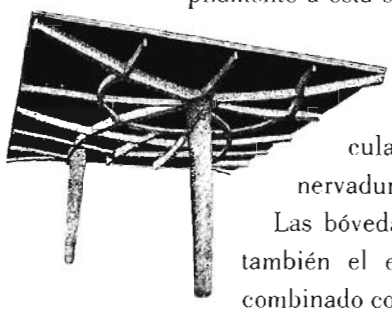


LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

PLACA ESTRUCTURADA FORMADA POR EL "ENTRETEJIDO" DE SUPERFICIES CON TENSIONES COMPENSADAS.

La arquitectura ofrece varios ejemplos de este recurso para reforzar superficies muy delgadas. Pier Luigi Nervi, ingeniero italiano, recurrió ampliamente a esta solución, como lo muestra la pérgola a la entrada del edificio de la UNESCO. Nervi se inspiró en los diagramas de esfuerzo de los sistemas de trabéculas óseas para la disposición de dichas nervaduras.

EDGAR VARGAS SEGÚN J. M. BAUFLÉ



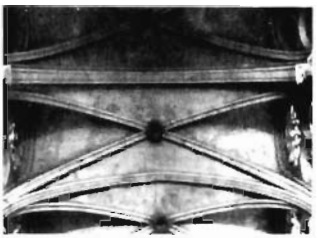
PÉRGOLA UNESCO, PARÍS.

Las bóvedas de las catedrales góticas muestran también el empleo de este recurso constructivo combinado con contracurvas.

Estación ferroviaria de Berlaage. El techo está estructurado por medio de un corrugado que, además, es soportado por "nervaduras" transversales, perpendiculares al plano del corrugado.

Fabricio Vanden Broeck

Bóvedas en la catedral de Bristol, Inglaterra.

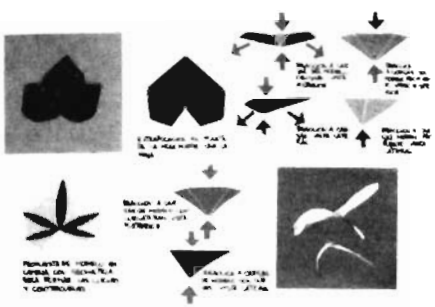


Fabricio Vanden Broeck

Superficies estructuradas complejas

Las más de las veces, en la naturaleza como en la técnica, se combinan diferentes principios de estructuración en una superficie: forma, rigidizaciones localizadas, nervaduras.

En el agave, las hojas, superficies resistentes a la flexión en cantiléver, presentan forma de conoide y por lo tanto dobles curvaturas, además de terminar en punta, lo que les permite disminuir el espesor conforme avanzan hacia el extremo y generar un punto que tensiona el resto de la hoja.



Laboratorio de Diseño VIII, UAM

Ciertos hongos presentan formas cercanas a secciones

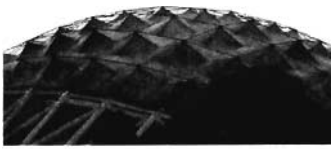
Fabricio Vanden Broeck

Secciones de agave.

de esfera combinadas con un sistema de placas perpendiculares que les confiere estructura.

La cubierta del Palacio de los Deportes de la Ciudad de México está estructurada por varios principios simultáneos: forma global esferoidal (doble curvatura), sectorización, rigidizaciones localizadas en torno a puntos y nervaduras formadas por una retícula que se superpone a la estructura, uniendo las placas entre sí, lo cual confiere cohesión al conjunto.

Fernando Schultz



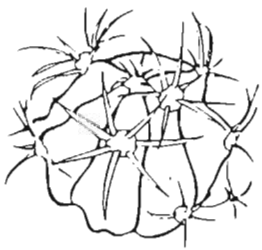
Fabricio Vanden Broeck

Palacio de los Deportes, México, df.

La superficie externa de las cactáceas esferoidales muestra diferentes principios estructurales: contracurvas, rigidizaciones localizadas en torno a líneas, puntos, etcétera.

En este cactáceo la estructuración es lograda por:

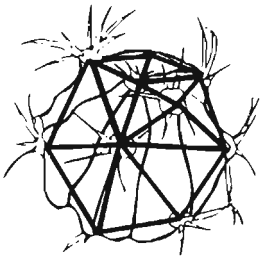
Fabricio Vanden Broeck



1. Forma global esferoidal con sectorizaciones.

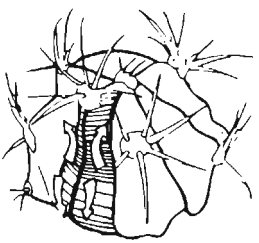
Fabricio Vanden Broeck

2. Estructuración en torno a puntos (espinas).



FABRICIO VANDEN BROECK

3. GEODESIA.



FABRICIO VANDEN BROECK

4. CONTRACURVAS.

En la técnica abunda el uso de superficies onduladas, corrugadas, etcétera.

Gaudí hizo una significativa innovación en los ondulados que consiste en el desfasamiento de las ondulaciones. Esto evita la presencia de las rectas, inherentes al ondulado simple, que constituyen potenciales bisagras. De esta manera se puede disminuir el espesor de la superficie ondulada.

DIAPOHLM

ONDULADOS DESFASADOS, GAUDÍ.

Sin embargo, nadie mejor que Le Ricolais entendió el uso de las láminas onduladas. Utilizando ondulados muy delgados pero superpuestos y cruzados a 90 grados, Le Ricolais logró generar superficies muy ligeras y resistentes que, en este caso, convendría llamar placas, por su naturaleza compuesta. Estas placas funcionan como el triplay, que está constituido por ca-

FABRICIO VANDEN BROECK

pas en donde las fibras son alternativamente desfasadas a 90°. El sistema, llamado Isoflex por Le Ricolais, fue aplicado a superficies planas y tubos para su uso en puentes y macroestructuras.

MIMRAM

SISTEMA ISOFLEX EN TUBOS.

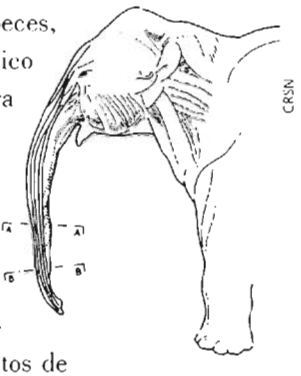
CAPÍTULO

10

Estudios de caso

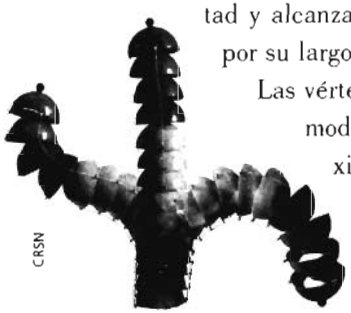
Sistemas de manipulación

En el CRSN (Centro de Investigación de Estructuras Naturales) del Istituto Europeo di Design de Milán, fueron estudiados la trompa de elefante y los sistemas caudales de peces, con miras a desarrollar un brazo robótico, económico y versátil, dirigido a usos cualitativos dentro y fuera de la industria.

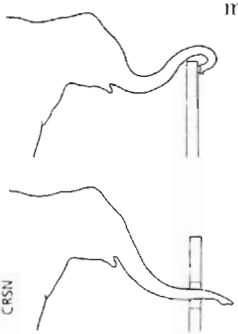


Según Bombardelli, la trompa de los elefantes está compuesta de músculos longitudinales y circulares de diferente largo, que otorgan a dicho apéndice una gran libertad de orientación y posicionamiento. Los músculos longitudinales, todos provenientes de la zona craneana, tienen puntos de fijación a diferentes alturas con respecto al eje longitudinal.

Por la contracción y relajación alternada de estos músculos, que trabajan como tensores independientes, la trompa puede moverse con extrema libertad y alcanzar cualquier punto dentro de la esfera descrita por su largo, asumiendo complejas conformaciones curvas.



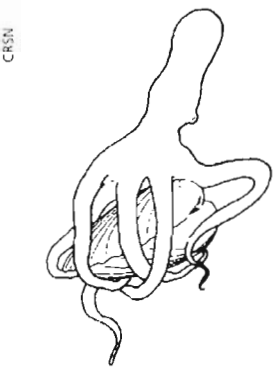
Las vértebras caudales de algunos peces son elementos modulares, unidos sobre el eje longitudinal de flexión por la cuerda caudal. El nervio espinal y la aorta dorsal, órganos de transmisión de fluidos y funciones vitales, pasan por el eje neutro donde los esfuerzos de flexión son

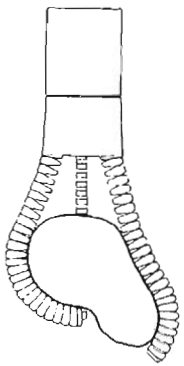


mínimos. El ligamento longitudinal que permite la flexión de la columna está alejado del eje neutro para así aumentar la palanca y optimizar la flexión del sistema. Las ventajas del brazo robótico propuesto, con respecto a un brazo articulado convencional, son las siguientes:

- Modularidad de los componentes, lo cual permite abatir costos de producción, así como adecuar el largo del brazo a las necesidades específicas de operación.
- Maximización del espacio operativo y minimización de las zonas muertas (zonas de inaccesibilidad dentro de la esfera descrita por el brazo).
- Los movimientos siguen la trayectoria más económica para alcanzar un punto determinado, mediante un sistema de control extremadamente simplificado.
- Posibilidad de superar un obstáculo sin tocarlo.
- La sección transversal reducida permite el acceso a espacios exiguos o sinuosos.

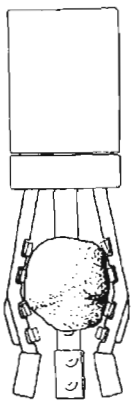
Terminal operativa de prensión

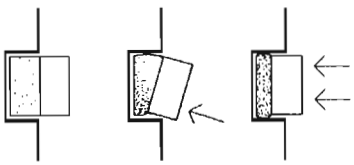




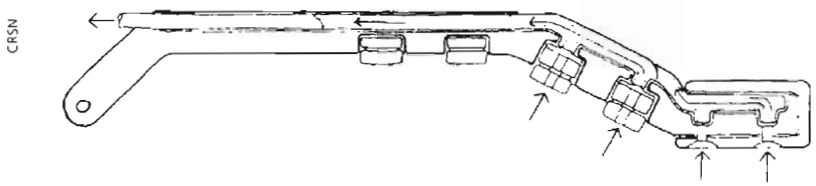
La observación de sistemas prensiles en varios animales llevó al diseño de una terminal altamente versátil para el brazo, constituida por tres dedos que presenta las siguientes características:

- Prensión fina en los extremos de los dedos, para objetos de pequeñas dimensiones.
- Prensión gruesa con el cuerpo de los tres dedos, auxiliada por un sistema de cojinetes (inspirados en las patas de las aves) que se adaptan a la forma del objeto manipulado
- Prensión por succión para objetos grandes y planos, posibilitada por un mecanismo de succión situado en los extremos de los dedos.





La terminal acumula el máximo de funciones de prensión, optimizando la versatilidad y adaptabilidad a situaciones funcionales diferentes.



Brazo mecánico basado en el brazo de cangrejo

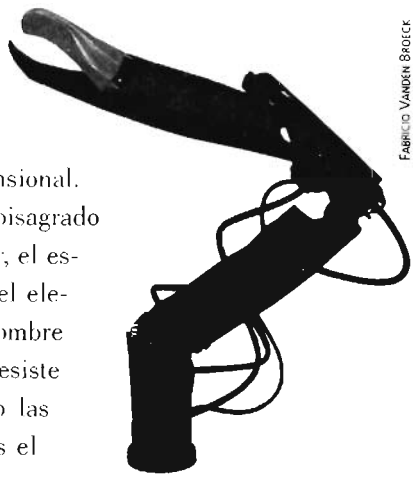
Al observar un brazo de cangrejo se puede apreciar la gran movilidad que tiene, sorprendiendo el hecho de que, a pesar de estar conformado únicamente por piezas y articulaciones rígidas, el conjunto resulta sumamente elástico.

Las piezas del brazo son rígidas porque el cangrejo tiene un esqueleto externo, y las articulaciones son limitadas a un solo movimiento (un movimiento en un plano único) que sólo permite el desplazamiento angular. El usar elementos rígidos conectados por bisagras en forma convencional llevaría a un mecanismo que sólo podría alcanzar los puntos colocados en una trayectoria espiral situada en un plano único.

El brazo de cangrejo no presenta la limitación anterior, y puede alcanzar casi cualquier punto en un espacio de acción esférico, de diámetro equivalente en proporción al brazo del hombre, sin recurrir al complejo mecanismo de articulación que este último presenta.

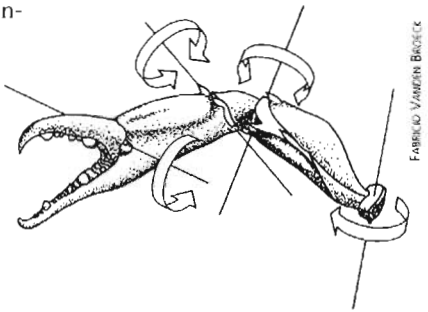
El resultado descrito se logra por la angulación de las bisagras: el eje de giro de la articulación en un extremo de cualquier sección está desfasado, angularmente con respecto al otro extremo, con los dos resultados siguientes:

1. El movimiento de una sección cubre un plano, pero al conjuntarse con el movimiento de las secciones anteriores logra abarcar varios planos consecutivos, lográndose cubrir un espacio tridimensional.
2. Cuando se somete un elemento abisagrado convencional a flexión en cantiléver, el esfuerzo tiene que ser soportado por el elemento tensionante: al sostener un hombre un peso con la mano, el biceps resiste casi todo el esfuerzo, pero cuando las bisagras están desfasadas, entonces el elemento rígido absorbe la flexión, re-



Fabricio Vanden Broeck

levando a los tensores (músculos, tendones, etc.) de gran parte de la solicitación mecánica y permitiendo entonces reducir el volumen y la importancia de éstos.



FABRICIO VANDEN BROECK

LOS EJES DEL GIRO FORMAN ÁNGULOS CONVERGENTES DE ORIENTACION CENTRÍFUGA.

FABRICIO VANDEN BROECK

PROYECTO: ANTONIO HENAINE, ASESOR: FABRICIO VANDEN BROECK.

Esta observación es particularmente relevante para macroestructuras como palas mecánicas o grúas, en donde, en la actualidad, los segmentos se articulan según ejes de giro horizontales y paralelos de forma que los momentos de flexión se acumulan y, debido a la enorme masa del sistema, se requiere entonces de sistemas compensatorios importantes (tensores y, o, pistones hidráulicos) para soportar el cantiléver.

Huesos y estructuras

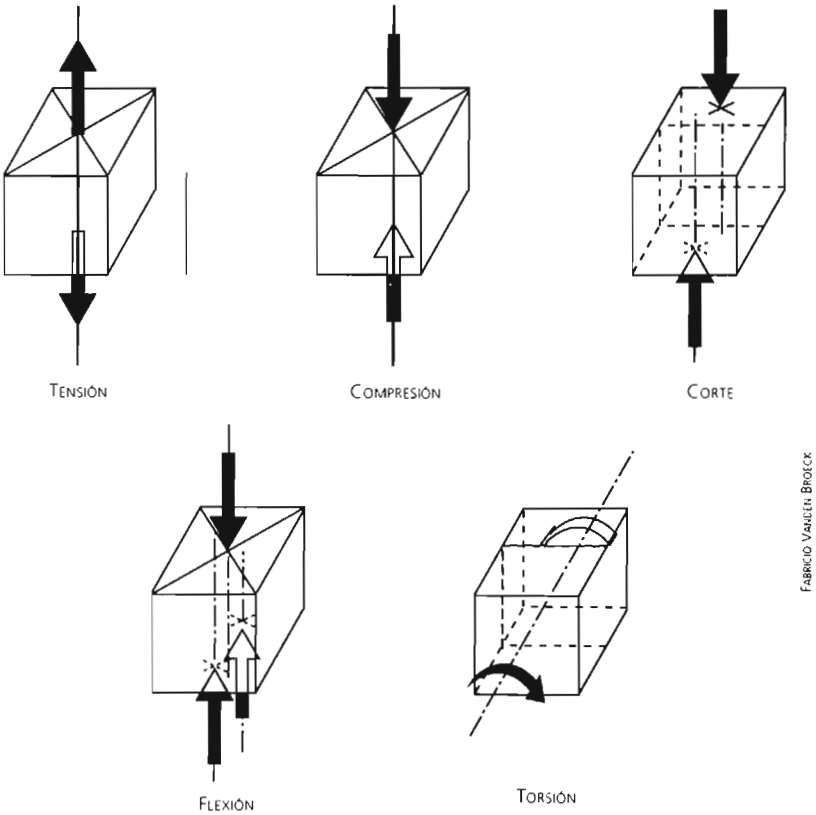
La estructura de los huesos es uno de los temas recurrentes en la biónica por el interés que las estructuras ligeras presentan en el campo de la construcción. Los huesos, como las conchas y caparazones, son estructuras muy sofisticadas que solucionan problemas con el mínimo de material.

Cargas y esfuerzos

Desde el punto de vista biomecánico, las fuerzas se dividen en:

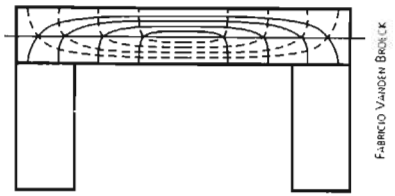
- Cargas o fuerzas externas que actúan sobre una estructura.
- Esfuerzos: efecto de las cargas dentro de la estructura (reacción de la estructura).

Existen *cinco tipos de cargas*: *tensión*, *compresión*, *corte*, *flexión* y *torsión*, aunque en realidad toda carga puede reducirse a una combinación local de tensión y compresión, esfuerzos opuestos por definición. En la mayoría de los casos, estos dos esfuerzos se combinan y son interdependientes (la tensión en una parte de un objeto provocando la compresión en otra).



El diagrama de una viga en flexión expresa dicha interdependencia: las fibras en la cara inferior de la viga tienden a extenderse, manifestando esfuerzos locales en tensión, mientras que en la cara superior las fibras se arrugan: trabajan en compresión.

Como tensión y compresión son opuestas y se anulan, se deduce que a medida que las fibras pasen de la cara en compresión a la cara en tensión, paralelamente al eje longitudinal de la viga, disminuirán los esfuerzos de compresión hasta anularse, dando paso a un esfuerzo progresivo de tensión.



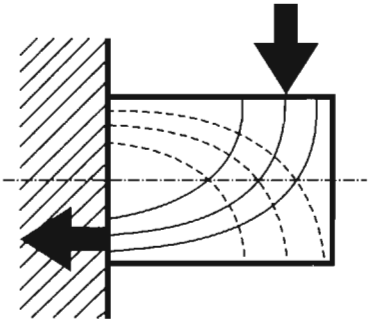
El eje longitudinal de la viga determina una zona neutra donde el material no sufre esfuerzos, lo cual se evidencia por medio del sistema de *estática gráfica*: las líneas de tensión (trazo punteado), idénticas y opuestas a las de compresión (trazo continuo), constituyen estos dos sistemas de líneas parabólicas que se intersectan a 90°, determinando el *eje neutro*.

Por otro lado, la zona en donde las líneas de tensión o de compresión tienden a acercarse más una a otra, determina la zona de mayores esfuerzos.

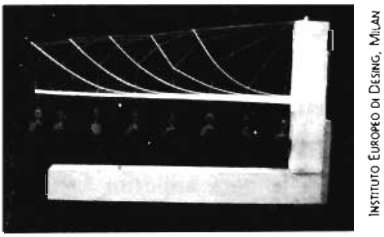
En el ejemplo de cantiléver, las líneas de esfuerzo se expresan así: inmediatamente debajo del eje de la carga, las líneas de compresión tienden a describir una parábola que se descarga sobre el muro, en la parte inferior del plano de contacto.

Las líneas de esfuerzo, más densas en la vecindad del plano de contacto con el muro, delimitan el lugar donde la viga se rompería con un exceso de carga. La forma de un objeto refleja los esfuerzos que lo moldean. Se puede eliminar una cantidad importante de material limitándolo a aquellas zonas en donde el diagrama de esfuerzos lo requiere.

Los huesos largos como la tibia son estructuras resistentes a la flexión y a la torsión, combinación de cargas muy frecuente en la naturaleza.



FABRICIO VANDEN BROECK



INSTITUTO EUROPEO DI DESING, MILAN

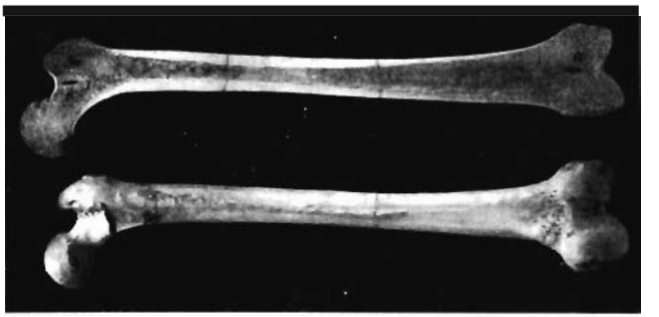
MODELO DE INTERACCIÓN TENSIÓN–COMPRESIÓN, EN CANTILÉVER

Dos tipos de material conforman el hueso:

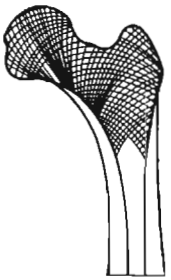
- Hueso compacto, concentrado en la zona del plano medio transversal del hueso y cuyo espesor disminuye hacia las extremidades.
- Hueso poroso, evidente en las extremidades.

Se constata lo siguiente:

- El eje neutro desprovisto de material estructural en torno al eje longitudinal del hueso.
- El material poroso, cuya estructura aparenta desorden, sigue en realidad las líneas de esfuerzo, resaltando los sistemas parabólicos antes descritos.



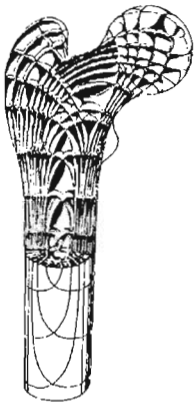
CRSN



De esta manera, el hueso maximiza la superficie de apoyo y de articulación, (extremidades) evitando, gracias a un material poroso, un incremento excesivo de material y, por lo tanto, de peso.

El hueso evita el *flambeo* (flexión provocada por una compresión) trabajando como una hiperboloide de un manto: ofrece una amplia superficie de apoyo en sus extremidades, repartiendo la carga para evitar presiones localizadas y focalizándola en el plano medio transversal, la zona más estructurada.

En esencia, los huesos largos representan estructuras altamente eficientes (elevada resistencia por unidad de peso).



RECONSTRUCCIÓN DE LAS SUPERFICIES GENERADAS POR LOS SISTEMAS DE ESFUERZOS EN LA TIBIA HUMANA.

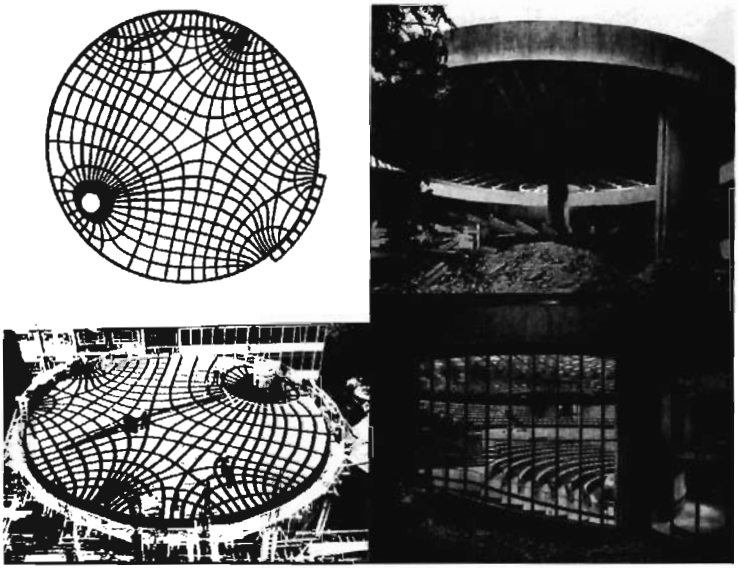
P. L. Nervi

HANGAR, AEROPUERTO DE OVVIETO, ITALIA. OBRA DE PIER LUIGI NERVI.

INSTITUTO EUROPEO DI DESIGN, MILAN

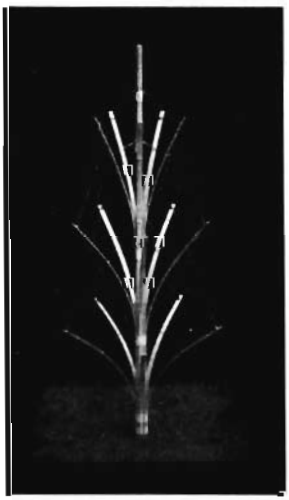
MODELO EN ACRÍLICO DE LOS PLANOS ISOSTÁTICOS.

B. KRESSING



Auditorio de Biología, Universidad de Freiburg im Breisgau, RDA.

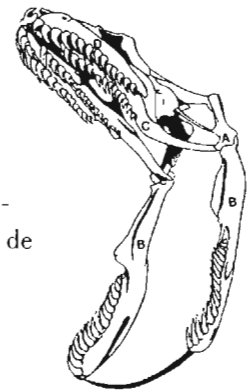
INSTITUTO EUROPEO DI DESIGN, MILAN



Modelo radial de la interacción de tensión y compresión.

Pterigoides de pitón

Desprovisto de miembros anteriores, el pitón cuenta con un sistema cráneo–maxilar que le permite atrapar y tragar animales cuya talla supera, por mucho, el tamaño de su cabeza. Logra esto por medio de una piel extremadamente elástica y de un sistema de huesos, articulados entre sí, que permiten una gran libertad de movimientos.



FABRICIO VANDEN BROECK

FABRICIO VANDEN BROECK

CRÁNEO DE PITÓN

Los músculos principales que accionan la mecánica craneal convergen sobre un hueso, el pterigoides, haciendo de éste una de las piezas más expuestas a cargas. Estas cargas son muy importantes ya que el grado de libertad de los elementos del cráneo es compensado por un gran volumen muscular.

FABRICIO VANDEN BROECK

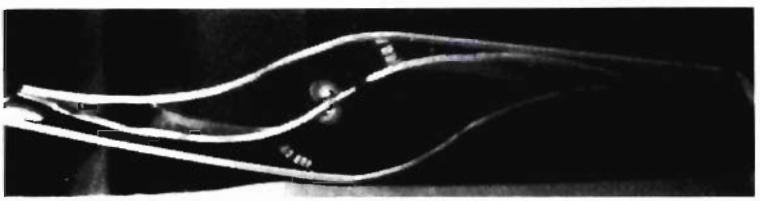
PTERIGOIDES DE PITÓN, VISTA SUPERIOR.

FABRICIO VANDEN BR

PTERIGOIDES DE PITÓN, VISTA INFERIOR

A pesar de su aparente fragilidad, la estructura del hueso pterigoides está óptimamente resuelta. Estudios de la tipología de cargas a la cual los músculos lo exponen, fueron confrontados con la forma del hueso, gracias al sistema de estática gráfica, llegándose a la conclusión de que la forma es consistente con la función.

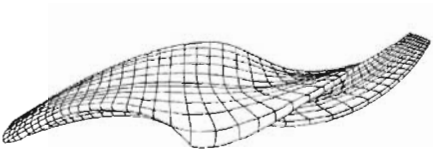
FABRICIO VANDEN BROECK



FABRICIO VANDEN BROECK

Pruebas empíricas con base en la tensión superficial, llevadas a cabo con agua jabonosa, demostraron que el hueso constituye una estructura mínima (en términos de material). La forma del pterigoides, resultado de la interacción de *tres curvas senoidales*, ofrece las siguientes características estructurales.

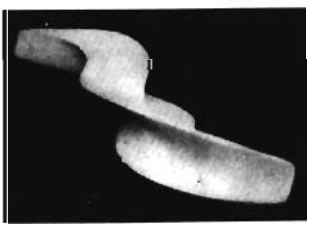
- En el sentido longitudinal el hueso se divide en dos partes, de manera que siempre hay una trabajando en compresión y la otra en tensión, dirigiendo los esfuerzos hacia el centro geométrico del hueso.
- La estructuración sinoidal es una solución particularmente eficaz para absorber los momentos de torsión generados por esfuerzos que no estén alineados con el eje de la estructura (lo cual generalmente es el caso de las situaciones dinámicas).



Fabricio Vanden Broeck

Fabricio Vanden Broeck

Modelo simétrico
del pterigoides de pitón.
Proyecto: Fabricio Vanden Broeck.



Fabricio Vanden Broeck

Fabricio Vanden Broeck

Las senoides confieren al hueso tensiones internas en diferentes sentidos que, en contradicción unas con otras, generan, en conjunto, una estructura pretensada, con características a la vez de elasticidad y resistencia.

FABRICIO VANDEN BROECK

SILLA DE FIBRA DE VIDRIO DESARROLLADA
A PARTIR DE LA ESTRUCTURA DEL PTERIGOIDES.

Semillas voladoras

Al no disponer de algún modo de locomoción, los vegetales han desarrollado sistemas de dispersión de las semillas para maximizar el área de diseminación y, con esto, las posibilidades de éxito de germinación. Existen diversos tipos de dispersión, entre las cuales destaca el vuelo.

Vuelo por rotación helicoidal

Existen varios sistemas de vuelo en el reino vegetal. Uno de estos, sobre todo en semillas relativamente grandes y pesadas, es el vuelo helicoidal. El giro del ala produce una sustentación que frena la caída de la semilla.

FABRICIO VANDEN BROECK

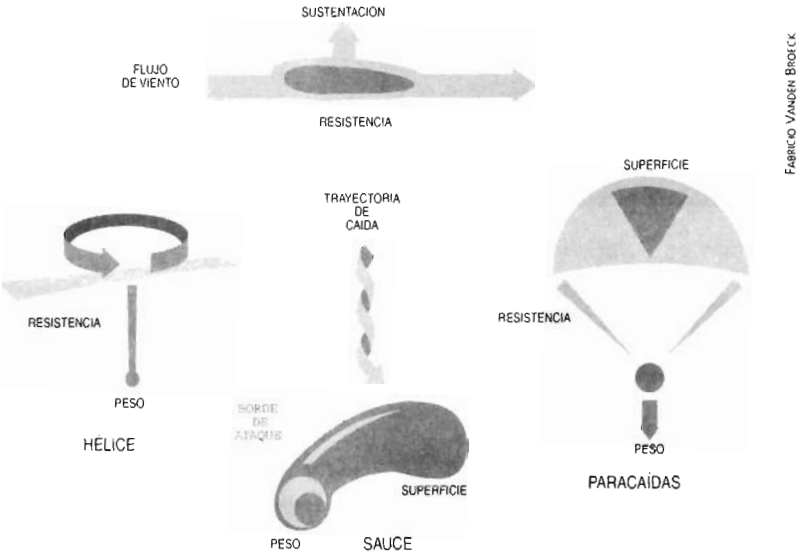
EDGAR VARGAS

TIPOS DE SEMILLAS VOLADORAS.

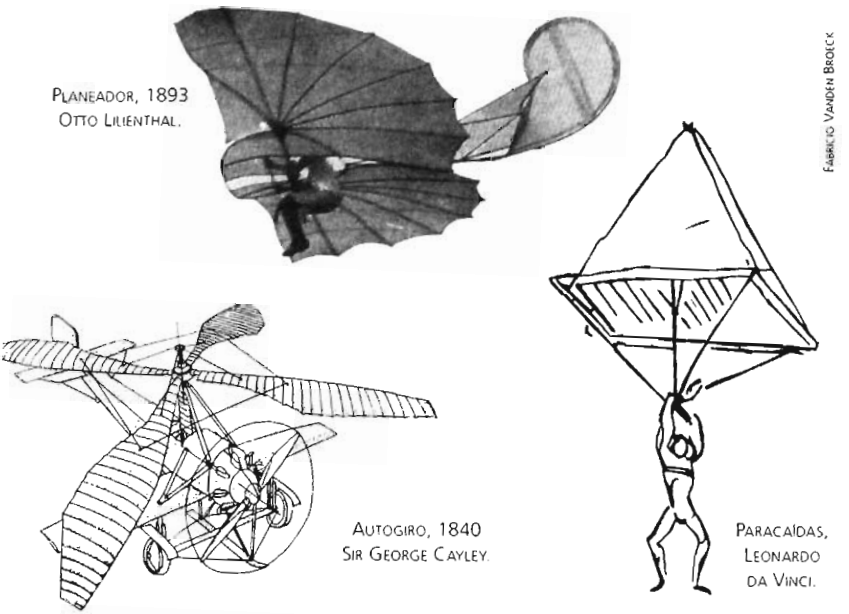
El trayecto varía según las semillas, siguiendo en unos casos una helicoide cilíndrica y en otros una cónica. Esta última optimiza la función del sistema: alejar el punto de impacto con el suelo de la vertical del punto de desprendimiento. Pero, en cualquiera de los dos casos, la trayectoria es inducida por el viento, que participa activamente en la dispersión de las semillas. Según H. Hertel, un viento de 16 m/s transportaría una semilla a una distancia de 200 m. cayendo de 10 m. de altura a la velocidad de 0.8 m/s.

FABRICIO VANDEN BROECK

FABRICIO VANDEN BROECK



FABRICIO VANDEN BROECK



FABRICIO VANDEN BROECK

Sistema de abastecimiento aéreo de zonas de desastre

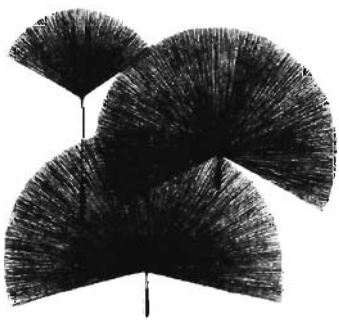
En zonas de desastre, como en el caso de un terremoto, la fase más crítica de las necesidades por satisfacer corresponde a las primeras *72 horas* después de ocurrida la catástrofe. Los equipos que llegan por tierra permanecen generalmente en la periferia del desastre, en donde la magnitud de las necesidades les impide avanzar hacia el centro.

Fabricio Vanden Broeck

Una hipótesis de apoyo a la solución de este problema es el abastecimiento aéreo de víveres y medicamentos con base en el sistema de dispersión helicoidal de las semillas de maple. Uno de los aspectos interesantes de este sistema reside en que las semillas tiradas desde un solo punto elevado, tienden a cubrir uniformemente un área relativamente grande de tierra. Se trabajó el principio a nivel experimental con resultados que indican la viabilidad de esta hipótesis a un costo bajísimo, utilizando cartón prensado.

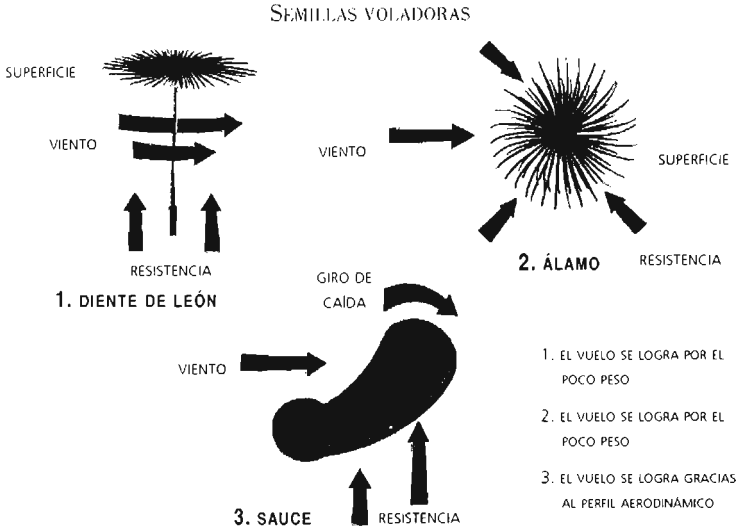
Semillas con movimiento ascendente

Otro tipo de semillas que corresponden a plantas que crecen a ras del suelo, desarrollan un patrón de locomoción basado en el vuelo ascendente. Éste es posibilitado por la forma de la semilla, que expone una gran superficie al aire a manera de funcionar aún con vientos relativamente mínimos.



Edgar Vargas

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM3



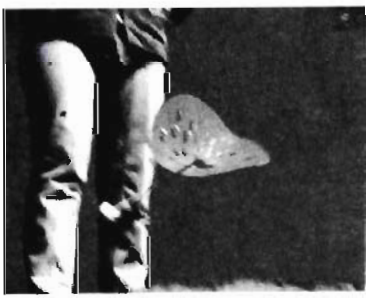
Es el caso de la semilla del Diente de león cuya superficie portante está constituida por múltiples pelos dispuestos en forma de explosión. En el Instituto Europeo di Design, en Milán, fueron desarrollados modelos experimentales basados en este principio. Se optó por sustituir los pelos de la semilla por un sistema de planos que aprovechan la acción del viento, como en el modelo natural, con interesantes resultados.

La extrapolación del objeto de estudio, en este caso como en tantos otros, debe tomar en cuenta el efecto de escala sobre la relación superficie portante/peso. Una extrapolación formal con base en "pelos" de grandes dimensiones implicaría un peso excesivo, comprometiendo el funcionamiento.

Las posibilidades de aplicación de este principio son múltiples, como, por ejemplo, un sistema de referencia visual permanente para la localización aérea de lanchas neumáticas en casos de naufragios, sustituyendo a la pistola de señales luminosas, cuya carga es limitada en cantidad y en tiempo. Actualmente se desarrolla un sistema de este tipo, plegable (con un mínimo espacio de ocupación cuando no está en uso) y fosforescente que, atado a la lancha por medio de un cable y a una determinada altura, resulte visible tanto de día como de noche.

El mismo tema de estudio puede generar diferentes lecturas, según el ángulo de observación. En muchas de las semillas de vuelo ascendente, como el diente de león, se evidencia la presencia de un eje vertical que termina con un peso en su extremidad inferior que es, de hecho, la semilla. La función de este sistema de contrapeso es la de posicionar la semilla y orientarla en descenso. En efecto, la semilla es levantada por el viento o por corrientes ascendentes y cuando éstos cesan, el sistema desciende, a manera de paracaídas gracias al peso y a la disposición de la semilla.

FABRICIO VANDEN BROECK



El rol equilibrador del peso y el eje fue evidenciado por una serie de experimentos realizados en el Laboratorio Associado de Desenho Industrial de Santa Catarina, Brasil, dirigidos a minimizar la complejidad de la superficie portante, reduciéndose ésta a una superficie cónica perforada.

El contrapeso, cuando se articula, funciona como péndulo oponiéndose a la tendencia natural de la superficie a voltearse. El interés de este estudio reside en la fabricación, a bajo costo, de sistemas de dispersión aérea de semillas o fertilizantes, en donde el contenedor juega el papel de contrapeso, vaciándose progresivamente de su contenido gracias al movimiento pendular.

Estructuras celulares

Elementos estructurales en cactáceos

Los cactáceos, en general, son estructuras predominantemente hidráulicas en donde la presión interna de los fluidos es equilibrada por la superficie externa que trabaja a tensión. La forma externa de estas plantas tiende a ser *esferoidal*. Sin embargo, algunos cactáceos como el órgano, básicamente *estructuras verticales*, ramificadas o no, presentan un "alma" hecha de un *material diferenciado*, de forma cilíndrica, que otorga al conjunto resistencia a la flexión.

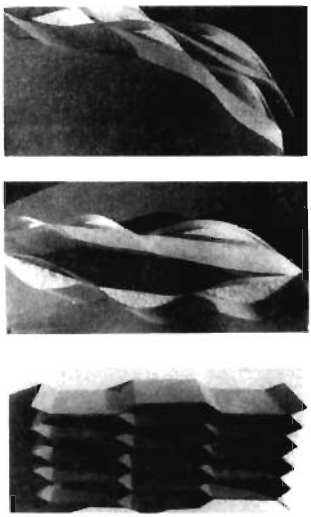
FABRICIO VANDEN BROECK

ESTRUCTURA CELULAR DE CACTÁCEO.

A pesar de ser rígido, el material es muy ligero debido a que combina dos tipos de materiales: unas *fibras largas en forma de banda*, resistentes a la tensión, que se juntan y se separan alternativamente formando huecos que son llenados por un material de baja densidad que juega el papel de separador de fibras.

Este sistema puede ser simulado por bandas de papel unidas en puntos desfasados que generan un sistema altamente resistente.

El estudio de un sistema puede conectarse de repente con una aplicación aparentemente lejana o, por lo menos, en donde la analogía sea menos evidente. En este caso, el tema de estudio sirve de catalizador y, a través de la modelización, sugiere las posibles aplicaciones.



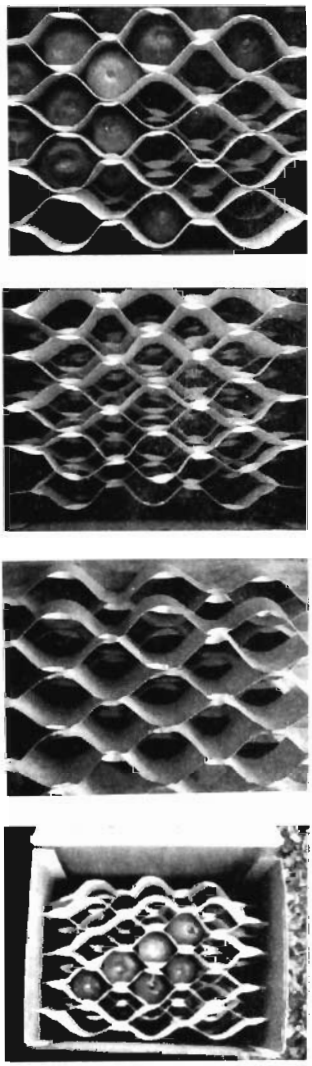
FABRICIO VANDEN BROECK

MODELIZACIÓN DEL PRINCIPIO OBSERVADO.

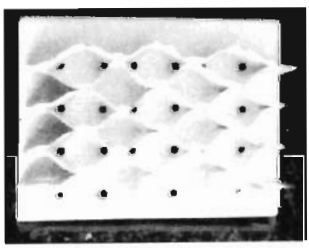
Contenedor de tomates

Para efectos de transporte los tomates son generalmente aplicados dentro de cajas de madera de forma tal que, debido al peso y a la falta de un sistema adecuado de circulación de aire, se pierde hasta un veinte por ciento aproximadamente del contenido de la caja (en general, las camadas superior e inferior).

FABRICIO VANDEN BROECK



A partir del principio de refuerzo interno de las cactáceas, se ideó un sistema de empaque de tomates que minimiza los puntos de contacto con el fruto reduciéndolo a tres: dos laterales y uno en la parte inferior. Los tomates asumen el rol de separadores de tiras de papel, dejando espacios que permiten la circulación del aire. Cada camada está desfasada con respecto a la otra y un pequeño suaje permite optimizar el apoyo del tomate en su base.



FABRICIO VANDEN BROECK

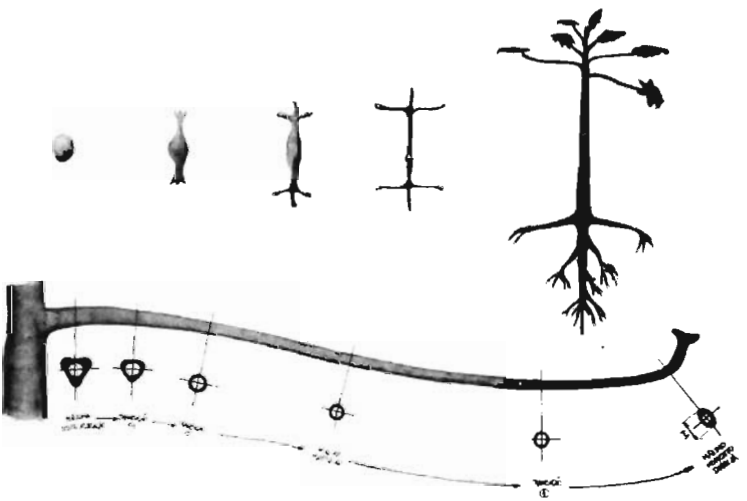
PROYECTO: ANA MARÍA CUBATAO Y CLAUDIA DOS SANTOS, LABORATORIO ASSOCIADO DE DESENHO INDUSTRIAL, FLORIANOPOLIS, BRASIL/ASESOR: FABRICIO VANDEN BROECK.

El papayo, un ejemplo de investigación básica

La investigación básica, además de contribuir a conformar un acervo de soluciones a ser aplicadas en problemas específicos, constituye una enorme fuente de reflexión sobre el tema de la forma que permite replantear y cuestionar creativamente posiciones y actitudes derivadas de la actividad proyectual convencional. Al abordar un tema de estudio biónico, la atención se focaliza sobre un punto específico de interés, generalmente el más evidente, actitud derivada de nuestra visión descompositiva e inmediatista, visión que comienza a resquebrajarse conforme se profundiza en el estudio. En efecto, el objeto natural constituye una totalidad sinergética difícilmente reducible a partes, en donde todo trabaja para todo, y cada "parte" se explica en función de las demás, evidenciando la polifuncionalidad de la forma natural en desafío a la actividad proyectual en donde generalmente se resuelven problemas con soluciones aisladas.

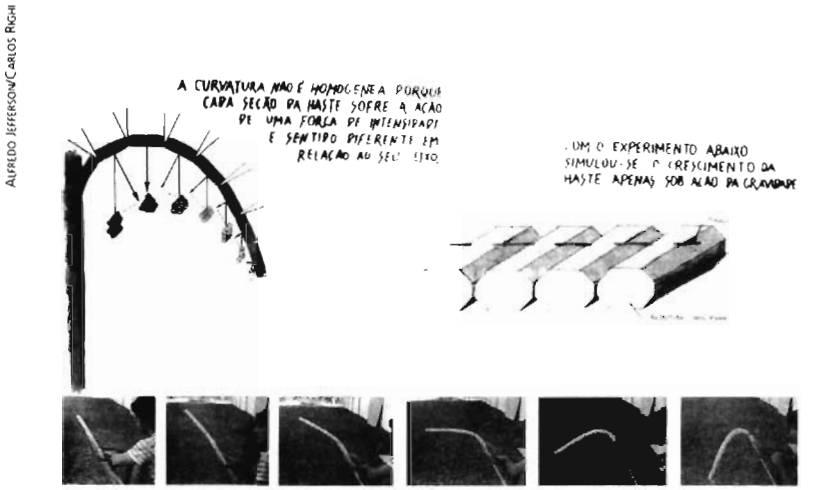
En el siguiente estudio, orientado hacia la comprensión del cambio de forma en el papayo, primero se detectaron los principales puntos de interés:

- Estructura de la rama.
- Unión rama–tronco.
- Estructura del tronco.



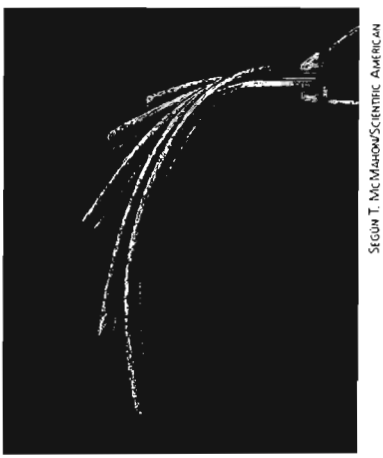
ALFREDO JEFFERSON/CARLOS RIGHI

Estructura de la rama


A CURVATURA NÃO É HOMOGÊNEA PORQUE CADA SEÇÃO DA HASTE SOFRE A AÇÃO DE UMA FORÇA DE INTENSIDADE E SENTIDO DIFERENTE EM RELAÇÃO AO SEU EIXO
UM O EXPERIMENTO ABAIXO SIMULOU-SE O CRESCIMENTO DA HASTE APENAS SOB AÇÃO DA GRAVIDADE

ALFREDO JEFFERSON/CARLOS RIGHI

Las ramas de todo árbol tienen un largo determinado por el límite elástico del material. La función de las ramas es alejar las hojas del tronco para optimizar la ocupación del espacio y lograr una exposición uniforme al sol. Las ramas crecen mientras se pueden alejar del tronco. Sin embargo, a partir de cierto tamaño empiezan a flexionarse debido a su peso, de manera que el crecimiento longitudinal ya no aleja más las hojas del tronco.

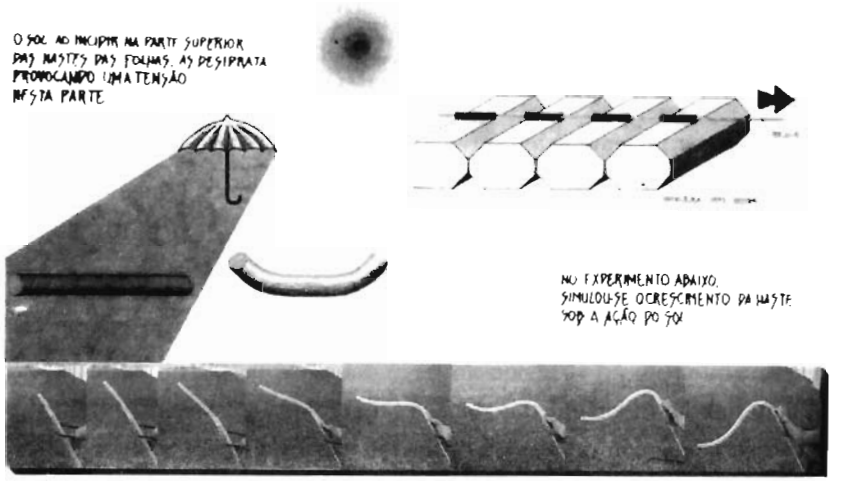


SEGÚN T. MCMAHON/SCIENTIFIC AMERICAN

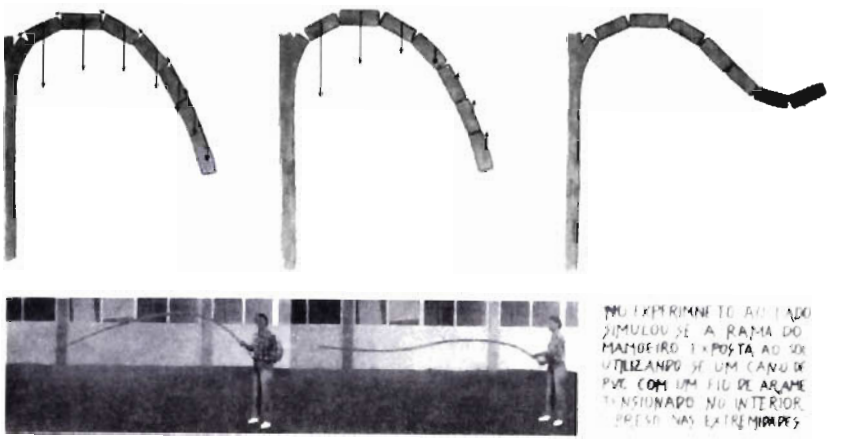
Después de un largo crítico, el peso acumulado hace que la punta de la rama, en vez de alejarse del tronco, se acerque a éste. El largo crítico corresponde al límite elástico del material que en los árboles es, de hecho, optimizado por medio de secciones decrecientes.

En el papayo es patente un mecanismo diferente ya que se observa, después de un punto de inflexión, el repunte ascendente de la rama: su largo total supera el largo impuesto por el límite elástico del material.

Este hecho se debe a la acción del sol que, al secar las fibras de la parte superior de la rama, las contrae, haciendo que ésta funcione como si tuvie-


O SOL AO INCIDIR NA PARTE SUPERIOR
DAS HASTES DAS FOLHAS, AS DESIDRATA
PROVOCANDO UMA TENSÃO
NESTA PARTE
NO EXPERIMENTO ABAIXO,
SIMULOU-SE O CRESCIMENTO DA HASTE
POR A AÇÃO DO SOL

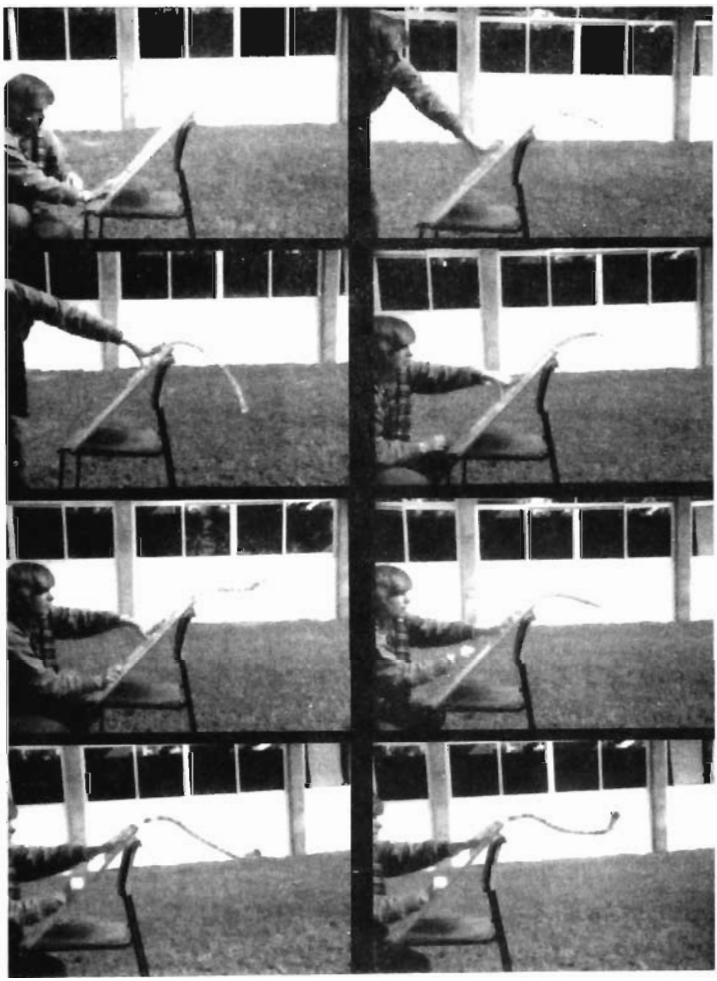
ALFREDO JEFFERSON/CARLOS RIGHI



ALFREDO JEFFERSON/CARLOS RIGHI

ra un tensor en esa región. De esta manera la rama puede alejar las hojas del tronco de manera significativa, evitando el problema del límite elástico del material.

Modelos hechos con distintos materiales, PVC entre otros, mostraron el principio cuyo interés reside en sus posibles aplicaciones a estructuras en cantiléver.



ALFREDO TENERIO/CARLOS RICHI

ALFREDO JEFFERSON/CARLOS RIGHI

FABRICIO VANDEN BROECK

OTROS ARBOLES CUYAS RAMAS SE ESTRUCTURAN SEGÚN EL MISMO PRINCIPIO.

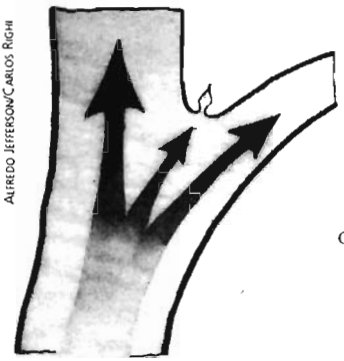
FABRICIO VANDEN BROECK

PINHEIRO, BRASIL.

Unión rama–ronco

La unión de la rama con el tronco está determinada por las necesidades de ésta. Para maximizar su largo, la rama sale del tronco según un ángulo ascendente de 75 grados. Aquí, la analogía con el tiro parabólico es evidente: el lanzamiento de un peso se efectúa según un ángulo ascendente, para maximizar el alcance.

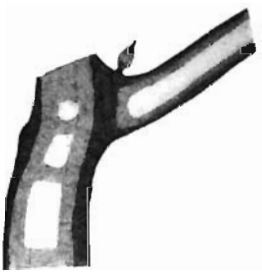
ALFREDO JEFFERSON/CARLOS RIGHI



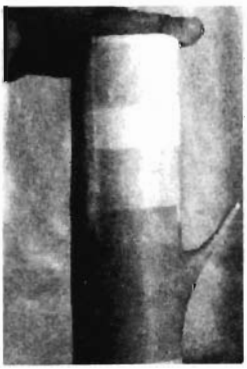
Alfredo Jefferson/Carlos Righi

El ángulo de 75 grados genera automáticamente una depresión en la parte superior de la unión y una zona tensionada, que tiende a conformar una arista, en la parte inferior. Dicha arista funciona como una ménsula en un entrepaño, y la intersección rama–tronco adopta así una forma de corazón, forma intermedia entre el círculo (economía, óptimo momento de inercia) y el triángulo (estabilidad, óptima sección de cantiléver).

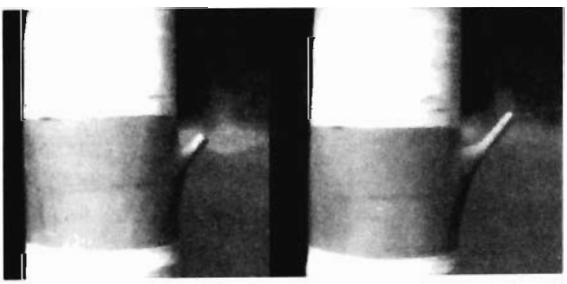
La depresión en la parte superior de la unión crea un espacio favorable a la formación de protuberancias (en este caso, flores o frutos).



Alfredo Jefferson/Carlos Righi

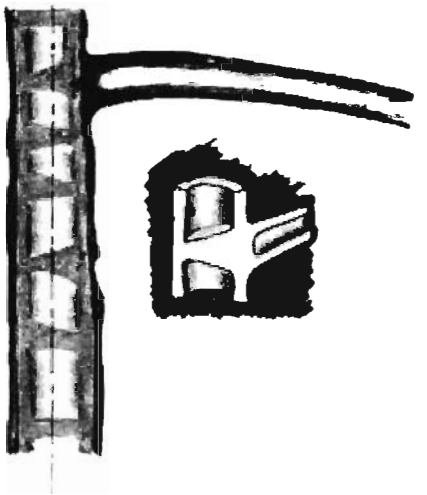


Alfredo Jefferson/Carlos Righi

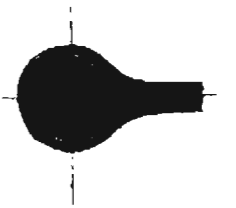


Alfredo Jefferson/Carlos Righi

Por otro lado, si hacemos un corte longitudinal en el tronco a la altura de dicha unión, constatamos la presencia de un sistema tensor en forma de diafragma, prolongación interna de la rama que contribuye a soportarla, además de estructurar el tronco (hueco) a flexión, evitando los estrangulamientos que acompañan a la flexión de tubos huecos. De hecho, el espesor de dicho tensor se desvanece conforme se aleja de la unión. El esfuerzo local de flexión que la rama provoca sobre el tronco mediante este tensor, es eliminado por la disposición helicoidal de las ramas en torno al tronco, las cuales de esta manera se compensan unas a otras.



ALFREDO JEFFERSON/CARLOS RIGHI



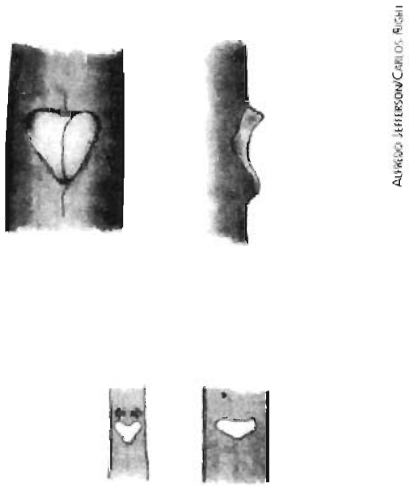
ALFREDO JEFFERSON/CARLOS RIGHI

Estructura del tronco

Además de la función de los diafragmas mencionados, el tronco constituye, al exterior, una superficie estructurada: al morir, las ramas caen sucesivamente del tronco dejando la impresión de la unión en forma de corazón.

Esta huella, que de hecho es una cicatriz, lejos de debilitar localmente al material, constituye una protuberancia cuyo perímetro es rigidizado localmente y cuya superficie, más elástica, se asienta en el eje vertical per-

mitiendo la necesaria expansión lateral del tronco a medida que el árbol crece en altura (el ancho aumenta con la potencia 3/2 de altura).



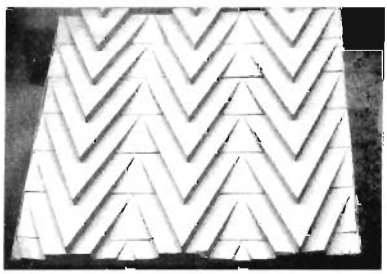
ALFREDO JEFFERSON/CARLOS RIGHI

PROYECTO: CARLOS RIGHI/ALFREDO JEFFERSON DE OLIVEIRA/ASESORIA: FABRICIO VANDEN BROECK, LABORATORIO ASSOCIADO DE DESENHO INDUSTRIAL, FLORIANOPOLIS, BRASIL.

Tratamiento de superficies

La naturaleza es un campo rico en ejemplos de texturas diferenciadas que responden a necesidades funcionales específicas tales como:

- *Estructura*
- *Adhesión*
- *Minimización de fricción* (locomoción).
- *Resilencia* (resistencia al impacto).
- *Luminosidad* (absorción o reflexión selectiva de la luz).

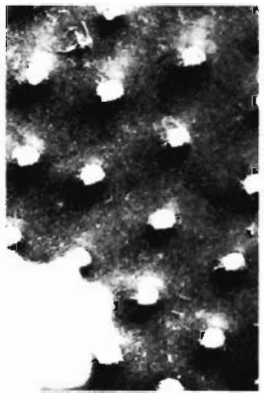


FABRICIO VANDEN BROECK

SUPERFICIE DE FRICCIÓN DIFERENCIADA. PERMITE EL AVANCE CON FRICCIÓN MÍNIMA E IMPIDE EL RETROCESO. PROYECTO BASADO EN LA ESTRUCTURA DE LAS ESCAMAS VENTRALES DE LAS SERPIENTES. J. P. GASC Y S. RENOUS.

La *caracterización táctil* y visual de las superficies es un campo relativamente poco explorado desde el punto de vista funcional, en el ámbito del diseño.

CRSN, Milán



Superficie de cactácea, caracterizada por el contraste entre una superficie cerosa y los puntos pilosos. CRSN, Milán.

CRSN, Milán

Interpretación técnica. El énfasis está en el contraste de materiales diferenciados para su aplicación al campo de los minusválidos visuales. CRSN, Milán.

Geometría plegable en la naturaleza

Ciertos peces tienen una boca formada por membranas rígidas que una determinada geometría de plegado les permite protraer y agrandar según sus necesidades. Para los peces, desprovistos de extremidades prensiles, la boca (al igual que para las serpientes) funciona como una herramienta versátil que, en algunos casos, se protrae y retrae, se agranda y se achica considerablemente.

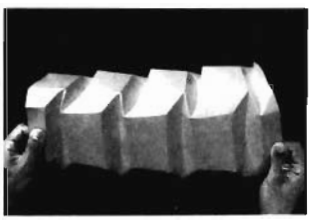
FABRICIO VANDEN BROECK

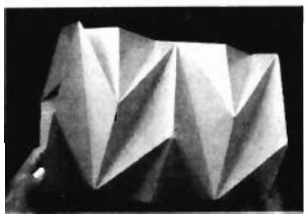
A partir de este principio, se exploraron varias geometrías que permitieran el abatimiento parcial o total de una superficie de funcionamiento.

Estas geometrías tienen un gran potencial de aplicación a problemas que impliquen variabilidad de volumen o forma:

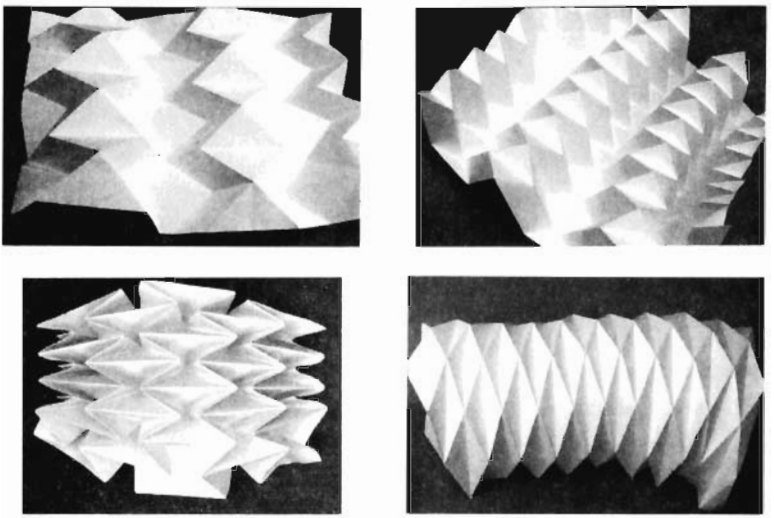
- *Empaque*
- *Habitat transicional*
  (tiendas de campaña con capacidad variable).
- *Sistemas compactables* (cuando no estén en uso).

FABRICIO VANDEN BROECK





PROYECTO: CURSO DE BIÓNICA APLICADA AL DISEÑO, LABORATORIO ASSOCIADO DE DESENHO INDUSTRIAL, FLORIANOPOLIS, BRASIL/ASESOR: FABRICIO VANDEN BROECK.



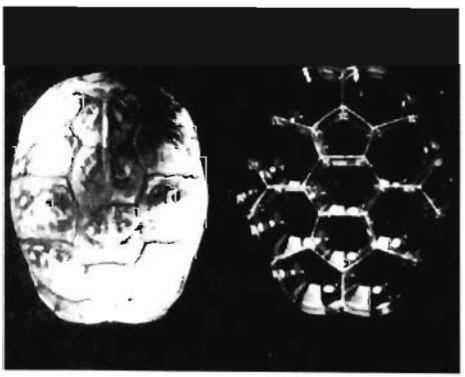
Fabricio Vanden Broeck

Exploración de geometrías de abatimiento y compactación, diseño básico, uam.

Geometría anisotrópica para cascarones convexos

El objetivo de este proyecto es la búsqueda, a través del estudio del caparazón de tortuga, de una geometría constructiva de aplicación al diseño de cascarones y estructuras convexas autoportantes y ligeras.

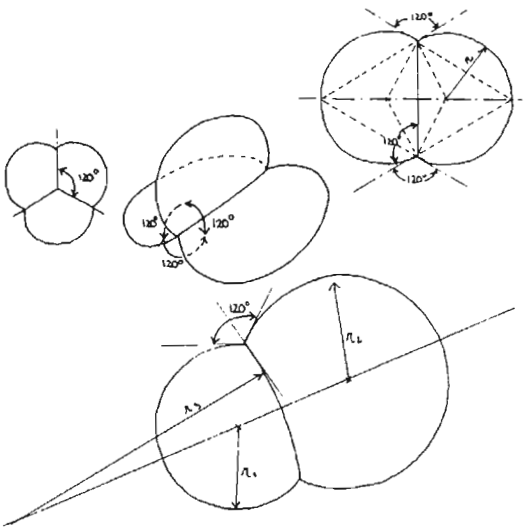
Uno de los principios constructivos más interesantes en la naturaleza es el de la tensión superficial. Este principio encuentra su más pura expresión en la geometría de las burbujas de jabón que responde a leyes relativamente simples y que se caracteriza por uniones triples y ángulos tendientes a 120°.

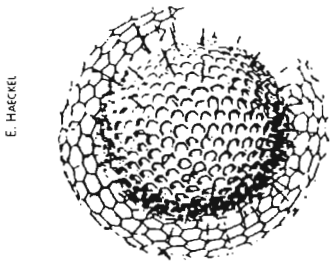


Peter S. Stevens

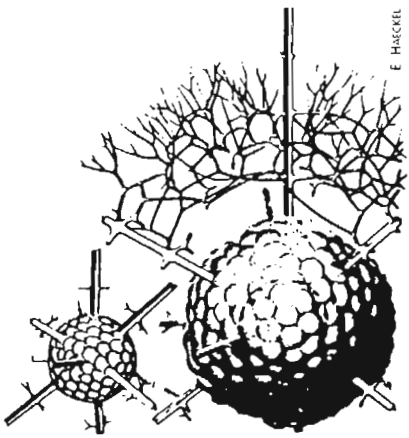
Este principio se encuentra también en los radiolarios, micro–organismos unicelulares de los fondos marinos cuyo "esqueleto" se forma por el depósito de materia mineral sobre una matriz orgánica, análoga a la espuma de jabón.

El estudio de estos organismos para fines arquitectónicos ha sido emprendido a partir de 1940 por ingenieros como Le Ricolais y Buckminster Fuller. Este último desarrolló la geometría de las cúpulas geodésicas. Los domos geodésicos son domos isotrópicos (que presentan una densidad estructural uniforme), generados por una red penta–hexagonal.



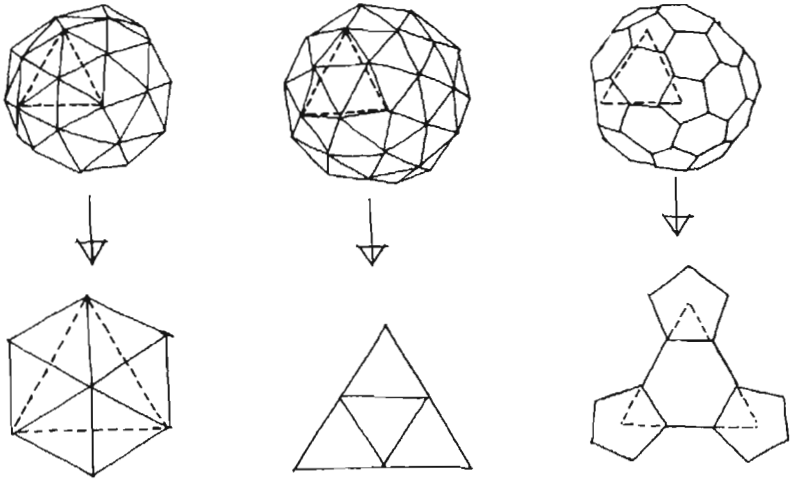


E. HAECKEL



E. HAECKEL

La extrapolación de los principios constructivos de los radiolarios a estructuras arquitectónicas es un primer paso, muy importante, en el



PARTICIÓN TRIACON. PARTICIÓN ALTERNA. PARTICIÓN HEX–PENT.

proceso de búsqueda de estructuras ligeras autoportantes. Sin embargo, es importante notar que los radiolarios no son tributarios de la fuerza de gravedad debido a su tamaño microscópico y su masa, prácticamente despreciable. La presión del agua se ejerce de manera uniforme sobre su estructura, por lo que su forma esférica resulta congruente, con la geometría isotrópica que la rige. La aplicación de los principios estructurales observados en los radiolarios a macro–estructuras que funcionan sobre tierra y no dentro del agua es entonces cuestionable (independientemente del material utilizado). Las cargas se ejercen de manera distinta y, por lo tanto, exigen una repartición distinta del material estructural.

De hecho, para la construcción del domo geodésico (pabellón de los Estados Unidos) en la Expo 67 de Montreal, concebido enteramente con tubos, Fuller tuvo que reemplazar los tubos del ecuador por barras macizas de sección redonda.

La solución óptima hubiera sido una partición geométrica conforme a la repartición de cargas, incompatible con una geometría isotrópica. Desde este punto de vista, los caparazones de tortuga representan un campo de investigación particularmente interesante.

Estructura del caparazón de tortuga

De manera general, el caparazón de tortuga está constituido por dos capas de materiales distintos: las placas óseas y las placas córneas. Estas últimas forman la capa exterior. Las placas córneas trabajando a tensión contribuyen a mantener en cohesión al conjunto de placas óseas, resistentes a compresión.

FABRICIO VANDEN BROECK

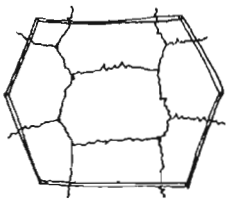
TESTUDO MARGINATA.

FABRICIO VANDEN BROECK

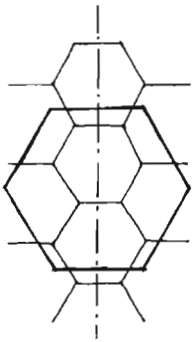
ÁREA DE ENSAMBLE DE LAS PLACAS ÓSEAS.

La geometría que rige el acomodo de las placas óseas no tiene, aparentemente, relación geométrica con la geometría de las placas córneas, sin embargo, ambas geometrías están desfasadas a manera de evitar la sobreposición de vértices, lo que optimiza las características estructurales del conjunto.

Este desfase es preciso y puede ser definido geométricamente.

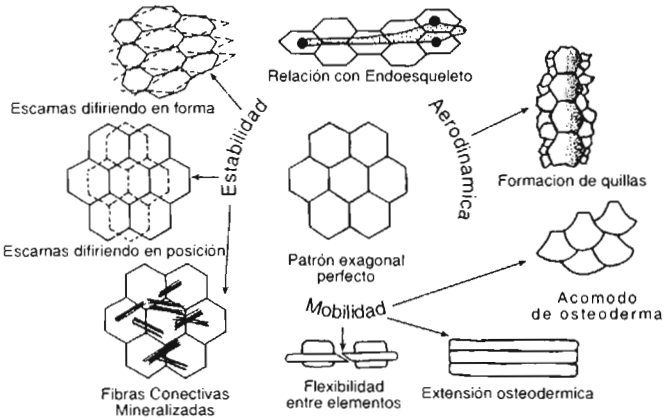


ESCAMA CENTRAL Y PLACAS ÓSEAS SUBYACENTES.



FABRICIO VANDEN BROECK

INTERPRETACIÓN GEOMÉTRICA DE LA SUPERPOSICIÓN DE LAS DOS REDES. NÓTESE QUE SE EVITA LA SOBREPOSICIÓN DE UNIONES.



MIGUEL PÉREZ SEGÚN F. WESTPHAL

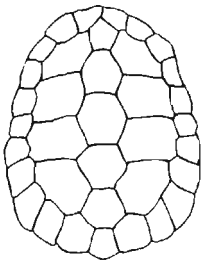
F. WESTPHAL RELACIONA LA INTERACCIÓN GEOMÉTRICA ENTRE PLACAS ÓSEAS Y CORNEAS CON FUNCIONES ESPECÍFICAS.

Por otro lado, la forma global del caparazón de tortuga no es esférica (ni podría serlo, ya que es afectada principalmente por la fuerza de gravedad) sino ovoidal, lo cual tiende a repartir mejor los esfuerzos.

Finalmente, el caparazón de tortuga está estructuralmente constituido por dos partes distintas:

- Un *domo ovoidal*.
- Un *cinturón ecuatorial* de módulos independientes.

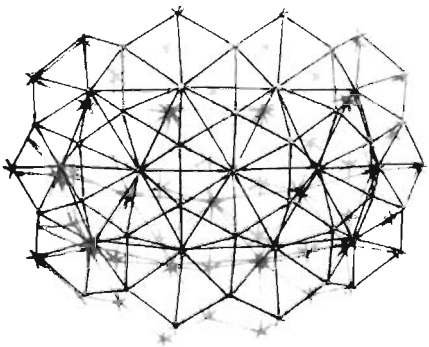
VISTA FRONTAL DE UN CAPARAZÓN DONDE UNA PARTE HA SIDO DESPRENDIDA. NÓTESE LA DENSIDAD ESTRUCTURAL MUCHO MAYOR A NIVEL DEL ECUADOR.



FABRICIO VANDEN BROECK

La línea de unión entre el cinturón ecuatorial y el domo coincide con un cambio de inflexión. La estructura se vuelve cóncava en vez de convexa, lo cual genera una tensión resistente sobre el domo. La forma se vuelve entonces una superficie de contracurvas, lo que incrementa la resistencia del conjunto.

Los sistemas geométricos, tanto el de placas óseas como el de placas córneas, reflejan todas estas consideraciones estructurales.



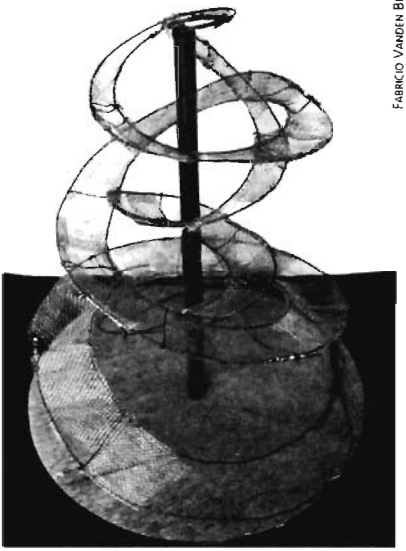
FABRICIO VANDEN BROECK

MODELO ESTRUCTURAL RETICULADO DEL DOMO DE CAPARAZÓN DE TORTUGA.

Experimentaciones varias

Sistema de captación de agua pluvial

En muchas ocasiones, la aplicación experimental de los principios constructivos elementales en la naturaleza lleva a resultados interesantes, como es el caso del estudio de sistemas de captación de agua pluvial. Entre varias propuestas, se estudió un sistema de doble helicoide que maximiza la superficie de captación y se sitúa a un ángulo que evita que el impacto de la lluvia sobre una superficie perpendicular disperse el agua.

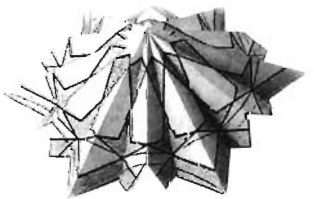


FABRICIO VANDEN BROECK

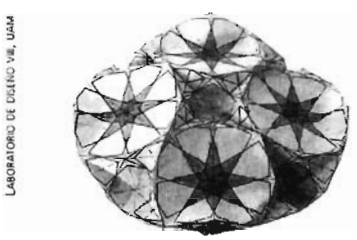
ESTRUCTURA DE BASE DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL, LABORATORIO ASSOCIADO, DE DESENHO INDUSTRIAL, FLORIANPOLIS, BRASIL.

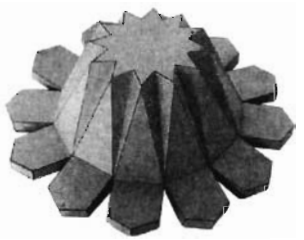
Superficies estructuradas y geometría islámica

Aunque quizá sin relación directa con la biónica, el recurrir a esquemas o geometrías vernáculas nos lleva a constatar que tradición y naturaleza convergen y llegan al mismo destino. La geometría islámica es, en este caso, pretexto experimental, punto de partida para generar estructuras tridimensionales a partir de geometrías planas. Estas exploraciones geométricas permiten una mejor comprensión de la estructuración por medio de la forma.



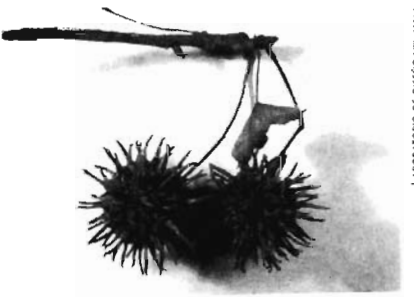
LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM





Contenedores resistentes al impacto

Como la castaña, muchas semillas son protegidas por un contenedor con puntas dispuestas en explosión que cuando está verde es muy elástico. Las puntas, extremadamente resilentes, participan, al secarse, en el mecanismo de apertura y dispersión de las semillas: éstas se secan antes que el resto de la membrana, constituyendo focos de contracción que rompen la membrana abriendo el contenedor en el momento oportuno.



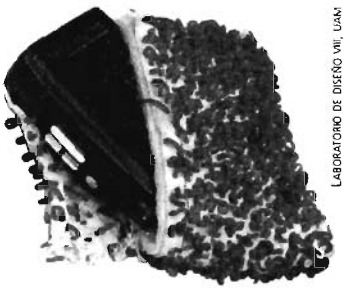
Cuando verdes, debido a su resilencia, las puntas constituyen separadores elásticos que alejan los frutos uno del otro para optimizar su exposición al sol, ya que el modo de crecimiento tiende a disponerlos en forma compacta.

Este aspecto detonó una serie de experimentaciones con estructuras anti–impacto en el Laboratorio Associado de Desenho Industrial de Santa Catarina: huevos protegidos con puntas de silicón se dejaron

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

caer desde una altura hasta de 1.20 m. resistiendo al impacto. El interés de este mecanismo reside en su aplicación a sistemas para protección de equipo frágil.

Las puntas resilentes resisten a impactos porque los absorben expandiéndose lateralmente y transmitiendo a la base sólo parte del esfuerzo, y esto tangencialmente, haciendo que el contenedor, en este caso el huevo, trabaje como forma continua, que es como presenta sus ventajas estructurales. Se desarrolló también una propuesta de "tela anti-impacto", en el marco del Laboratorio de Diseño VIII, en UAM, basada en este principio, entretejiendo liga de hule con la tela de manera a emular las puntas de hule. Se puso a prueba el sistema en un empaque para walkman que se dejó caer de una altura de dos pisos con óptimos resultados.


LABORATORIO DE DISEÑO VII, UAM

Simbólica animal

Un aspecto interesante de la investigación que vincula diseño con naturaleza reside en la simbólica de la forma natural.

El hombre, a fuerza de construir un medio tecnificado, ha terminado por aislarse de una naturaleza con la que hace siglos tenía estrecho contacto. Plantas, pero sobre todo animales, formaban parte de su imaginería y permitían la estructuración de su cosmogonía. La vasta gama de animales con los que el hombre convivía y a los que atribuía cualidades y símbolos se ha reducido considerablemente.

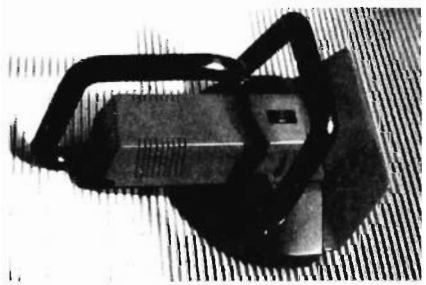
El hombre moderno ha sustituido animales por objetos, y en un afán, quizá inconsciente, de recuperar esa pléyade de símbolos que le permitan

recodificar el mundo tecnificado que gravita en torno a él, ha proyectado en los objetos cualidades típicamente animales.

El automóvil, a título de ejemplo, refleja en sus formas actitudes y posturas animales, particularmente felinas.

De noche, un automóvil deportivo, del cual no alcanzamos a percibir al conductor, "adquiere vida propia" e infunde respeto o temor, y qué decir de los nombres: Mustang, Tigra, Barracuda, Ram Charger, Panda, etcétera.

Es interesante para el diseño explorar esta área de la simbólica para constituir una "expresividad formal" en el proceso de diseñar objetos consistentes con las funciones que desempeñan.



Fabricio Vanden Broeck

En la Ecole Cantonale des Beaux–Arts, de Lausana, Suiza, Pierre Dubé diseñó una herramienta de jardín versátil destinada a uso doméstico a la que se le intercambian todo tipo de cuchillas para cortar, podar, etc. Dubé evitó un enfoque estético convencional que pudiese volver atractiva una herramienta potencialmente peligrosa para el usuario y optó por una morfología que evocara a un animal peligroso, en este caso el escorpión, aunado a una selección de colores *adhoc* (rojo y negro) para sugerir un manejo más cuidadoso.

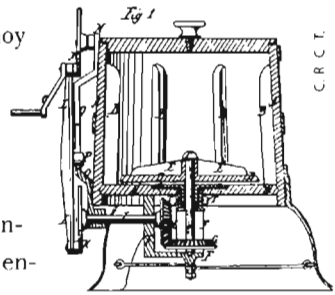
CAPÍTULO

11

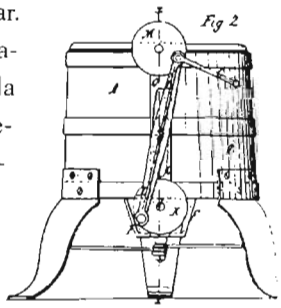
Consideraciones metodológicas

Diferencias entre naturaleza y técnica

Toda propuesta metodológica en el campo de la biónica es limitada por las problemáticas relacionadas con el establecimiento de analogías entre naturaleza y técnica. Existe, por principio de cuentas, una limitación inherente a la investigación de los sistemas naturales: nuestra comprensión de los fenómenos naturales está subordinada a nuestro desarrollo científico y tecnológico.



Estamos relativamente más capacitados hoy en día para efectuar la lectura de un fenómeno natural, que hace 100 años. De hecho, ha sucedido más de una vez que se reconozca en la naturaleza un determinado sistema técnico atribuido, a priori, a la inteligencia humana. Esto sucedió con el sistema de orientación por ultrasonido del murciélago que no se comprendió sino hasta que se desarrolló el radar.

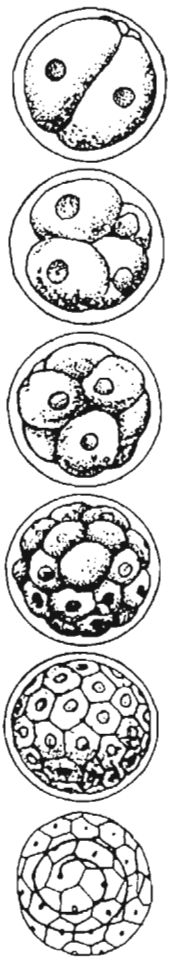


Por otro lado, existen diferencias fundamentales entre "objeto" natural y objeto artificial: la primera reside en que a diferencia de un "objeto" natural, el objeto o sistema artificial es relativamente transparente. Con unos conocimientos técnicos y científicos generales, se puede "disectar" un artefacto y reducirlo a sus componentes funcionales sin

mucho problema; esto refleja la metodología proyectual descompositiva que reduce un problema a sub–problemas y atribuye, a cada uno, una solución.

Esto no funciona así en la naturaleza y la lectura es muy difícil debido a que, a diferencia del artefacto que resulta de la integración de sus diversos componentes, el "objeto" natural es básicamente una unidad. Nosotros percibimos "partes" (cuyas fronteras son, de hecho, indefinidas) ahí donde en realidad no hay más que especializaciones localizadas de la unidad. Existe, entre dichas especializaciones, una continuidad, resultado de la morfogénesis: todo organismo vivo se origina en una célula, una unidad que crece por divisiones sucesivas.

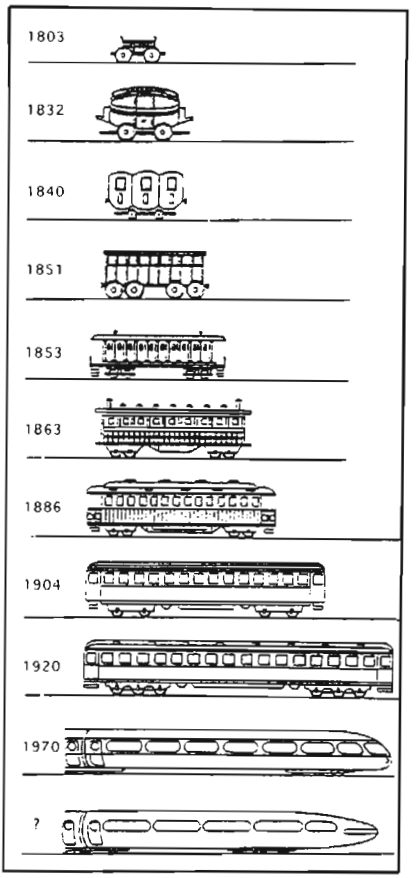
Instituto Europeo di Design



En consecuencia, en un organismo varios requerimientos funcionales son satisfechos con una sola solución: el análisis estructural de un árbol y sus ramificaciones demuestra que su forma es óptima dada la necesidad de expansión espacial para efecto de intercambio con el medio; las ramificaciones sucesivas, con diámetros y largos decrecientes, permiten una mejor repartición de los esfuerzos, evitando los flambeos inherentes a las estructuras verticales. De hecho, las ramificaciones obedecen a la regla del paralelogramo de fuerzas. Por otro lado, la dinámica de los fluidos confirma que la forma del árbol es, desde este punto de vista, idónea.

La segunda diferencia entre "objeto" natural y objeto artificial reside en que, contrariamente al hombre, que al proyectar puede partir de cero, la naturaleza construye modificando estructuras preexistentes para producir nuevos sistemas y, en consecuencia, según Saveley, a veces toma un camino largo para solucionar sus problemas. Desde este punto de vista, los "objetos" naturales no son nunca productos terminados, son etapas de un proceso continuo de adaptación a un medio en perpetuo cambio y llevan consigo reminicencias de etapas anteriores.

Es interesante anotar que, contrariamente a lo que se pudiera pensar, el hombre no proyecta partiendo de cero, aun cuando podría, y sus productos, así como en la naturaleza, siguen una evolución que poco a poco los desliga de la tradición.

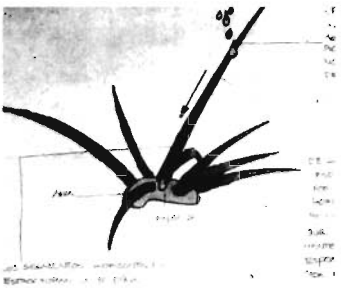


Konrad Lorenz nos ha hecho ver cómo, con la invención y el desarrollo del tren, con un fuerte apego a la tradición puso sobre rieles la diligencia de tracción animal y cómo, a costa de aberraciones funcionales, tuvieron que pasar más de cien años y unas diez etapas evolutivas antes de obtener un producto depurado que tuviera más cuentas que rendir con su medio funcional que con su ilustre antepasado. Permanece en la actualidad este estado de cosas, como lo muestra la introducción al mercado del *compact disc*. El sistema de lectura por medio de rayo láser permitiría prescindir de todo movimiento de rotación y compactar aún más el sistema, con toda la libertad de nuevas propuestas formales y, sin embargo, mantiene las características básicas de su predecesor, el tocadiscos.

Otra diferencia importante entre "objeto" natural y artefacto, reside en el factor "desarrollo"; el sistema natural, sobre todo el orgánico, es un sistema dinámico, no sólo en relación al espacio, sino también al tiempo. Todas estas consideraciones sugieren las dificultades inherentes al establecimiento de analogías entre naturaleza y técnica, restringiendo el planteamiento de una metodología.

Investigación básica

En esencia, el proceso tradicional de la biónica plantea al sistema biológico como un prototipo del cual se deriva un modelo para ser interpretado posteriormente a través de la actividad proyectual, en la resolución de un problema.

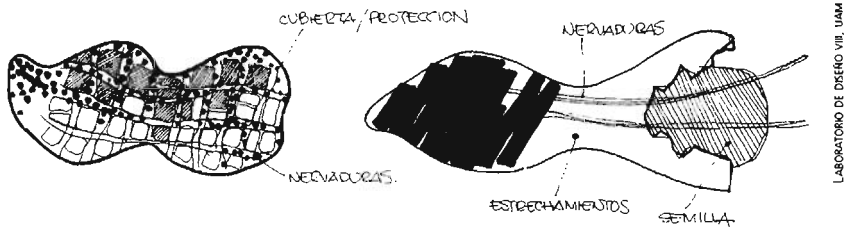


LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

En la investigación básica, definida como una de las dos vertientes de una actividad biónica aplicada al diseño, el proceso que ha arrojado, hasta ahora, los mejores resultados consiste en:

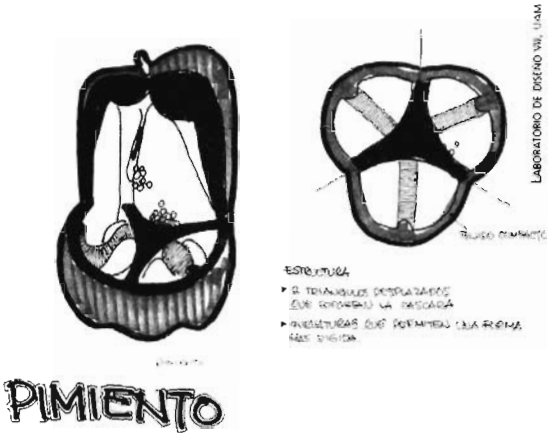
- Efectuar una primera lectura del tema de estudio desde la perspectiva del diseño.
- Confrontar los datos adquiridos con las interpretaciones hechas por otras disciplinas.
- Modelizar creativamente el tema observado, en relación al estado del arte en tecnología.

Las técnicas de lectura útiles a este propósito, son aquellas derivadas de la sinéctica, que consisten en abordar deliberadamente el problema desde una perspectiva y un marco de referencia no convencionales, como el méto-


CUBIERTA/PROTECCION
NERVADURAS
NERVADURAS
ESTRECHAMIENTOS
SEMILLA
CACAHUETE
▸ CUBIERTA DURA PERO FRAGIL CON NERVADURAS QUE LA RIGIDIZAN
▸ ESTRECHAMIENTOS DE LA FORMA EN TRAMOS DONDE NO EXISTE ELEMENTO A CONTENER.
▸ ESTRUCT CUBIERTA APLICABLE AL DISEÑO DE EMPAQUES DESECHABLES

LABORATORIO DE DISEÑO VIII, UAM

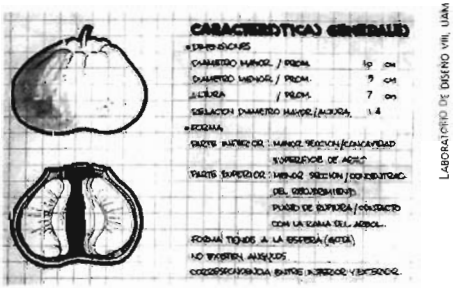
do que consiste en plantear el tema de estudio como un artefacto llegado de otro planeta y del cual se intenta descifrar el uso, las características funcionales, los materiales y los procesos de fabricación, refiriéndolos al estado del arte en tecnología sobre la Tierra.



Otras líneas creativas de interpretación, análogas a ésta, son sugeridas por D. H. Offner[1] y consisten en situarse en el lugar del objeto de estudio, con variantes tales como otorgar al objeto de estudio una inteligencia equivalente a la nuestra que le permitiera resolver los problemas relativos a su confrontación con el medio. Todas estas técnicas surten sus mejores efectos cuando son desarrolladas en grupo.

La información obtenida es confrontada posteriormente con los conocimientos científicos pertinentes. La obtención de datos más formales puede ser efectuada y posteriormente ser clasificada con base en el esquema definido por las grandes funciones, aquellas que son comunes a la mayoría de los organismos y sistemas naturales:

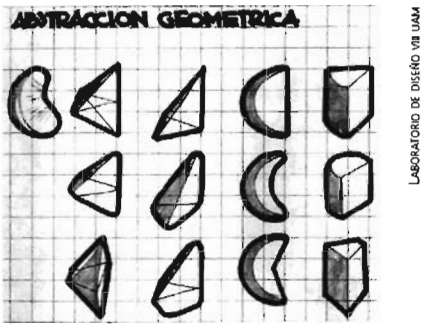
- protección y estructura
- intercambios con el medio
- crecimiento y desarrollo
- locomoción
- control y coordinación



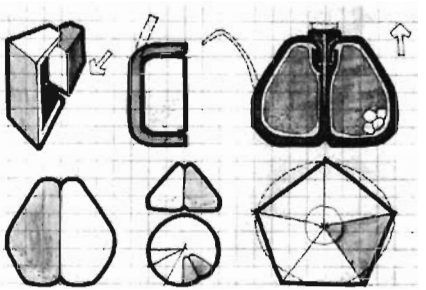
[1] Offner, D. H. "Bionics: A creative aid to engineering design", en *Mechanical Engineering*, núm. 96, julio de 1974.

- comunicación
- reproducción

Seguiría después la traducción a un lenguaje técnico del tema o de los elementos que presentan el mayor interés, a través de la modelización, interpretándolo creativamente, desde el punto de vista de diferentes materiales y posibles aplicaciones.

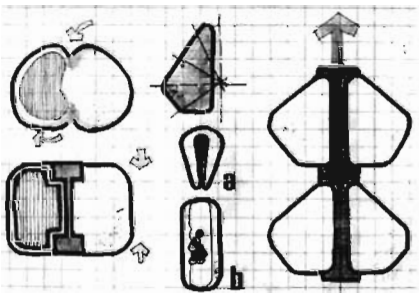


Es importante notar que una parte de este proceso toma al tema de estudio como un pretexto para la especulación y la experimentación y, por lo tanto, no es un proceso lineal.



Una metodología más formal para el estudio de un sistema natural es propuesta por Ripley y Buechner[2] con base en los siguientes puntos de vista:

- Los componentes del sistema: partículas subatómicas, células, órganos, componentes físicos, organismos, etcétera.
- La estructura y morfología: la organización de los "componentes" (si se trata de una entidad), la organización social (si se trata de un sistema) entre individuos de una especie, entre diferentes especies.



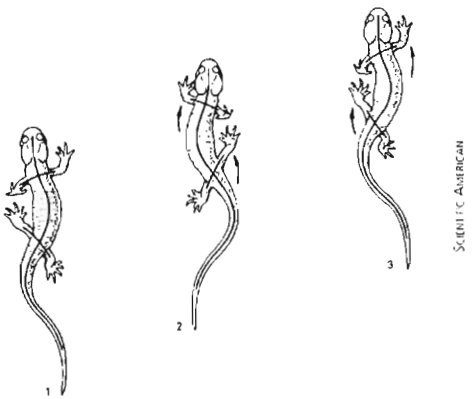
- Funciones y procesos: fisiología del sistema, incluyendo sistemas de regulación en organismos vivientes, a cualquier nivel de organización.

[2] Ripley, S. D. and Buechner, H. K., "Ecosystem Science as a point of synthesis", en Revelle, *et al.*, *America's Changing Environment*, Hougthon Mifflin, Nueva York, 1967.

- Distribución del tiempo: cambios en el sistema a través del tiempo, en los individuos así como en la especie.
- Distribución espacial: zoogeografía, fitogeografía, etcétera.
- Relación con el medio ambiente: influencia del medio sobre el sistema y viceversa.
- Clasificación: taxonomía, clasificación de ecosistemas, etcétera.

Según D. H. Offner, la taxonomía clásica es demasiado restrictiva para fines de biónica; el autor propone una clasificación de los organismos y sistemas derivada de las características básicas de su medio ambiente operativo:

- *In situ*: "objetos" estáticos o restringidos a un medio reducido, como los vegetales.
- Agua.
- Aire.
- Tierra.
- Sistemas.



Esta última categoría se propone para estudios donde "el énfasis está puesto en una característica o una función común a varios especímenes". Offner establece un esquema complementario de categorías funcionales para los temas de estudio, facilitando así el establecimiento de analogías:

- Sistemas de repartición de material (problemas estructurales, distribución de material intentando optimizar la repartición de cargas).
- Sistemas de transferencia de información (sensores, detectores, mejoría o extensión de los sentidos humanos).
- Sistema de control (problemas de organización, coordinación, sincronización, etcétera).
- Sistemas de transferencia de energía (transformación de un tipo de energía a otro, eficiencia energética, etcétera).

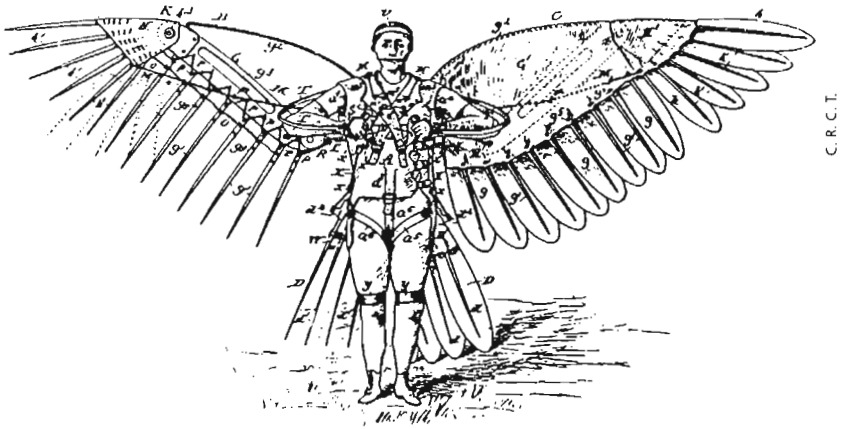
Investigación aplicada

En relación a la actividad biónica que consiste en buscar soluciones por analogía, dado un problema específico, se requiere, según Ken Yeang, "del conocimiento del área técnica en donde ocurre el problema de diseño, de un conocimiento de la biología, o al menos de aquella parte del campo donde se puedan encontrar respuestas, y de una terminología que permita una comunicación con biólogos".[3]

Con respecto a la comunicación con especialistas, es importante destacar que, a pesar de compartir el mismo objeto de estudio, los objetivos y, por lo tanto, la naturaleza misma de la observación, cambian de un biólogo a un proyectista. La mayoría de los biólogos tienen otros problemas que resolver, e inclusive, otras herramientas de trabajo.

Ken Yeang menciona los siguientes criterios metodológicos generales que conformarían el proceso biónico a partir de un problema específico por resolver:

1. Selección del sistema biológico de estudio considerando que sus atributos sean análogos o los del sistema que se pretende diseñar.



[3] Yeang, K., *The use of biological analogies for design.*

2. Determinación de los criterios que permitan calificar y cuantificar la validez de la analogía establecida.

3. Proceso de observación experimental y abstracción del sistema biológico investigado (considerado como prototipo).

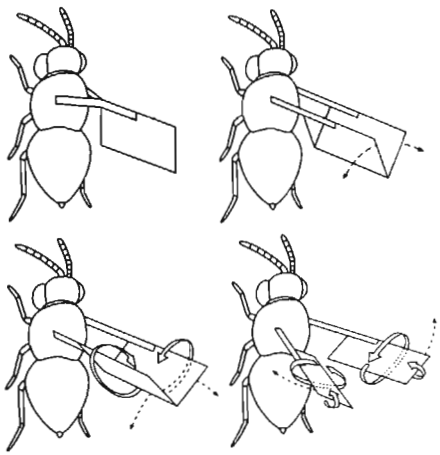
4. Proceso de traducción a un lenguaje técnico, a través de la modelización.

5. Interpretación del modelo y adecuación del principio detectado al sistema por diseñar.

6. Proceso de evaluación del funcionamiento del sistema diseñado y retroalimentación.

En esta secuencia, el punto neurálgico reside en el establecimiento cuidadoso de los parámetros (variables determinantes) que conforman el problema, mismos que servirán para determinar, y posteriormente evaluar, la analogía.

La modelización, tanto en este contexto como en la investigación básica, es un proceso de abstracción que elimina elementos o datos reales, pero irrelevantes. El modelo abandona entonces su valor de objetivo y se torna en un medio cognoscitivo, una herramienta de trabajo que asienta o invalida una hipótesis y, a su vez, propone, para quien quiera observarlo, puntos de partida para otras hipótesis.



Conclusión

Del reencuentro con la naturaleza y del diálogo renovado que podamos establecer con ésta dependerá nuestra capacidad de afrontar retos cada vez más complejos y de resolver los problemas de manera amplia para lograr un equilibrio sinergético con el ambiente, base del desarrollo sustentable.

Como dice Carmelo Di Bartolo, la palabra clave en la actividad proyectual del nuevo milenio será, sin duda, equilibrio.

El equilibrio en la naturaleza es cambiante y precario y, por lo mismo, difícil de percibir. Es un equilibrio dinámico: lo que vemos ya ha pasado.

El equilibrio no es uno solo, es el conjunto de muchos equilibrios en continuo nacer y morir. Este equilibrio compuesto determina, por medio de los ciclos, los flujos de energía y de materia.

El nacimiento y la muerte son dos momentos importantes de un ciclo, pero no son los únicos. Una flor es la consecuencia de un ciclo, la flor misma da vida a otro ciclo. Ciclos y subciclos interactúan generando ritmos.

Otoño, invierno, primavera y verano son regidos por el Sol y la Luna, que también obedecen a ciclos. Las plantas, edificios vegetales, se construyen de acuerdo a ciclos. Los animales se alimentan de vegetales, los vegetales de minerales, los animales restituyen al suelo los minerales. Estos ciclos interdependientes crean el equilibrio, la armonía, que dan sustento a la ecología.

La tensión superficial de la gota de agua determina su forma esférica. La forma esférica es óptima, contiene el máximo volumen con el mínimo de superficie, y superficie mínima significa menor empleo de energía, de material.

La organización de la naturaleza se sustenta en esta lógica de la eficiencia, del hacer más con menos, del hacer lo máximo con lo mínimo.

El estudio de los sistemas naturales puede llevarnos a una nueva visión ecológica, una ecología rescatada del desgaste al que la han sometido los políticos, una ecología que nos permita comprender cómo la materia organiza sus equilibrios dinámicos y cuáles son las formas y patrones que adopta para lograrlo.

Bibliografía

Capítulo 1. La biónica

Bonsiepe, G., *Teoría y práctica del diseño industrial. Elementos para una manualística crítica*, Gustavo Gili, Barcelona, 1978.

Coineau, y Kresling, B., *Les inventions de la Nature et la Bionique*, Hachette, París, 1987.

Gerardin, L., *La Bionique*, Hachette, París, 1968.

Ghyka, M., *Esthétique des proportions dans la Nature et dans les Arts*, Gallimard, París, 1927.

Marolleau, J., *Vivre en l'an 2000*, Presses Universitaires de France, París, 1975.

Messeguer, F., *Los sistemas vivientes y el diseño*, tesis de licenciatura en Diseño Industrial, UIA, México, 1976.

Thompson, W. D'Arcy, *On growth and form*, Cambridge University Press, 1942.

Wunderlich, K., y Gloede W., *Nature as Constructor*, Edition Leipzig, 1979.

Capítulo 2. La recurrencia de las formas

Beljon, J. J., *Gramática del Arte*, Celeste Ediciones, Madrid, 1993.

Joly, L., *Forme et Signe*, Tricorne, Ginebra, 1980.

Jung, C. G., *et al.*, *L' Homme et ses Symboles*, Robert Laffont, París, 1964.

Oeri, Georgine, *Man and his images. A way of seeing*, Studio Vista, Londres, 1968.

Capítulo 3. Patrones en la Naturaleza

Bartolo, Di C., *Strutture Naturali e Modelli Bionici*, Istituto Europeo di Design, Milán, 1981.

Freeland, J. H., *La búsqueda de respuestas*, Fondo Educativo Interamericano, México, 1984.

Stevens, P., *Patterns in Nature*, Little Brown & Co. Inc., Nueva York, 1976.

Capítulo 4. Esquemas de organización de recursos

Stevens, P., *Patterns in Nature*, Little Brown & Co. Inc., Nueva York, 1976.

Capítulo 5. Fluidos

Schwenk, Theodor, *Sensitive Chaos*, Rudolph Steiner Press, Londres, 1965.

Feininger, A., *The anatomy of Nature*, Dover, Nueva York, 1956.

Imbornone, P., *Forme spontane estrutture sottili*, Istituto di Architettura tecnica dell'Universita di Palermo, Quaderni, núm. 8.

Thompson, W. D'Arcy, *Sobre el crecimiento y la forma*, Hermann Blume, Madrid, 1984

Pearce, P. *Structure in Nature is a Strategy for Design*, MIT Press, Cambridge, 1978.

Capítulo 6. Esfera, crecimiento, espiral y muerte

Bartolo, Di C., *Strutture Naturali e Modelli Bionici*, Istituto Europeo di Design, Milán, 1981.

Cook, T. A., *The Curves of Life*, Dover Publications, Nueva York, 1979.

Cleyet-Michaud, M., *Le nombre d'or*, Presses Universitaires de France, París, 1973.

Doczi, György, *El Poder de los límites*, Troquel, Buenos Aires, 1996.

Montú, A., *Sezione Aurea e Forme Pentagonali*, ERAT, Milán, 1981.

Capítulo 7. Patrones en la técnica

Freeland, J. H., *La búsqueda de respuestas*, Fondo Educativo Interamericano, México, 1984.

Stevens, P., *Patterns in Nature*, Little Brown & Co. Inc., Nueva York, 1976.

Capítulo 8. Efecto de escala

Alexander, R., *Size and Shape*, Edward Arnold Publishers, Londres, 1971.

Johmann, C., "The camel's secret", en *Discovery*, vol. 1, núm. 3, 1980.

Mc., Mahon T. A., "The Mechanical Design of Trees", en *Scientific American*, agosto, 1975.

Schmidt-Nielsen, K., *How Animals Work*, Cambridge University Press, Cambridge, 1979.

Thompson, W. D'Arcy, *Sobre el crecimiento y la forma*, Hermann Blume, Madrid, 1984.

Capítulo 9. Superficies estructuradas

Brown, C. H., *Structural Materials in Animals, a Halsted Press Book*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1975.

Frei, O., *Tensile Structures*, MIT Press, Cambridge, 1977.

Hertel, H., *Structure, Form, Movement*, Van Nostrand Reinhold Co., Nueva York, 1966.

Salvadori, M., *Why buildings standup*, Mc. Graw-Hill, Nueva York, 1980.

Bibliografía complementaria

Critchlow, K., *Order in Space, a design source book*, The Viking Press, Nueva York, 1970.

Grillo, Paul Jacques, *Form Function & Design*, Dover, Nueva York, 1975.

Haeckel, E., *Art Forms in Nature*, Dover Publications, Nueva York, 1974.

Harlow, W. M., *Art forms from Plant Life*, Dover Publications, Nueva York, 1976.
Huyghe, R., *Formes et Forces*, Flammarion, París, 1971.
Monod, J., *El azar y la necesidad*, Planeta Agostini, México, 1984.
Papanek, V., *Design for the real world*, Bantam Books Inc., Nueva York, 1971.
Scientific American, Readings from (varios autores), *Vertebrate Structure and Functions*, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1974.
Williams, R., *The Geometrical Foundation of Natural Structure, A Source book of design*, Dover Publications, Nueva York 1979.

Comentarios sobre una bibliografía en español

La bibliografía sobre las temáticas que ocupan este libro es, en general, dispersa y/o muy especializada. El acceso a dicha bibliografía se complica en la medida en que se busquen textos en español.

Si bien en la anterior bibliografía se presentan algunos libros en español que por supuesto valen la pena ser leídos, es importante destacar una obra absolutamente indispensable para quien busque profundizar en el tema, una obra que abarca las más de las líneas de reflexión aquí expuestas.

Se trata del libro de D'Arcy W. Thompson, *Sobre crecimiento y forma*, que cuenta con una edición española, Blume, Madrid, 1984.

De hecho la mayoría de los libros y autores citados hacen referencia a esta obra fundamental que data de principios de siglo y aún sigue vigente.

Fuentes de fotografías e ilustraciones

Al calce de las imágenes se menciona la fuente de la imagen o el autor de ésta, o bien al artículo de donde fueron extraídas. Cuando es el caso, las obras son referidas en la bibliografía.

Una parte importante de las fotografías que aparecen publicadas en este libro son el resultado del trabajo de los alumnos de Diseño Industrial en el marco del *Laboratorio de Diseño, VIII*, dedicado al estudio de la biónica del que me ocupo desde hace 15 años.

Otra fuente de ilustraciones es el Centre de Recherche sur la Culture Technique (C. R. C. T.). Las imágenes que aparecen en este libro han sido tomadas de las siguientes monografías del C. R. C. T.: *Pouvoirs du rêve de* Thierry Gaudin (1984); Culture Technique, *Machines au foyer* (1980), Culture Technique, *Design* (1981).

Otra fuente de ilustraciones es el CRSN Centro Ricerche Strutture Naturalli, centro de estudio y experimentación sobre temas de biónica aplicada al diseño vinculado con el Istituto Europeo di Design de Milán, Italia.

Algunas fotografías de objetos, particularmente artesanía de todo el mundo, han sido tomadas de las series de Documentación Audiovisual de Editions Diapofilm, París, Francia.

Ciertas imágenes, muy particulares, fueron tomadas de artículos del Scientific American. Algunas imágenes fueron provistas por COSEI. UAM–AZCAPOTZALCO, aunque sin referencia de los autores.

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

COSEI
COORDINACIÓN DE SERVICIOS DE INFORMACIÓN

Formato de Papeleta de Vencimiento

El usuario se obliga a devolver este libro en la fecha señalada en el sello mas reciente

Código de barras. 2893408

FECHA DE DEVOLUCION

2893408

UAM 2893408
NX650 Vanden Broeck, Fabricio
N3.8 El diseño de la naturalez
V3.62

La naturaleza es una fuente inagotable de soluciones a problemas estructurales, funcionales y constructivos entre otros muchos, ya que sus formas son el resultado de un largo proceso evolutivo y de adaptación que favorece aquellas más eficientes, aquellas que logran más con menos; mas estructura con menos material, mas velocidad con menos energía , más versatilidad con menos recursos.

Es innegable que el hombre, en su calidad de constructor, inventor o proyectista, ha recibido siempre la influencia de la naturaleza, aunque sea de manera indirecta; así, resulta evidente la relación de los nidos de pájaro y el entramado natural de algunas palmas con el desarrollo de la cestería, los encordados y las telas.

¿Y qué no decir de la influencia del vuelo de los pájaro en el desarrollo de la aviación?

Existe una tradición de constructores y proyectistas que han abordado deliberada y sistemáticamente la naturaleza en busca de soluciones a sus problemas organizativos, funcionales, estructurales, constructivos, técnicos y formales.

Este libro pretende ser una invitación a observar la naturaleza con un ojo creativo, una invitación a conocer una tradición proyectual que parece iniciar, cuando menos históricamente, con Leonardo da Vinci.

Libros de texto y manuales de práctica